

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

LEONEL PARISENTI DO NASCIMENTO

**PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO PERMEÁVEL PARA UM LOTEAMENTO
LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE CANELA, RS**

CAXIAS DO SUL

2020

LEONEL PARISENTI DO NASCIMENTO

**PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO PERMEÁVEL EM UM LOTEAMENTO
LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE CANELA, RS**

Projeto apresentado como requisito final de aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Civil da Universidade de Caxias do Sul/RS

Orientador Me. Tiago Panizzon

CAXIAS DO SUL

2020

RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo de viabilidade técnico-econômica do uso de pavimento permeável em um futuro empreendimento no município de Canela, RS, na forma de um loteamento de cerca de 84.000 m². Foram aqui discutidas as variáveis de projeto, como fatores morfométricos e pluviométricos da região, métodos construtivos e variações no sistema de infiltração presentes em pavimentos permeáveis para, então, ser realizado o dimensionamento hidráulico do pavimento, consistindo da camada de base/armazenamento, sistema de drenagem e averiguação do sistema de revestimento escolhido pela incorporadora. Ressalta-se que este trabalho não contempla o dimensionamento mecânico do pavimento. Por fim foi feito o orçamento do projeto baseado na TCPO (Tabela de Composição de Preços e Orçamentos) e no SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil). Foi constatada a viabilidade técnica do uso dessa forma de pavimentação na área analisada, uma vez que as espessuras encontradas para as camadas analisadas se encontram dentro de limites usuais e as velocidades máximas encontradas nos drenos escolhidos estão abaixo do limite de 5 m/s. Após estimativa do orçamento e comparação com custos de pavimentos com sistemas tradicionais de drenagem, disponibilizado pela incorporadora, constatou-se o custo superior do sistema permeável, entretanto não foi possível uma análise econômica mais profunda.

Palavras-chave: Pavimento Permeável, Pavimentos Permeáveis, Loteamento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Divisores Topográficos	8
Figura 2: Delimitação de Bacia Hidrográfica.....	9
Figura 3: Perfil de Umidade do Solo	12
Figura 4: Velocidade de Infiltração Acumulada em Função do Tempo.....	13
Figura 5: Variação da Velocidade de Infiltração com o Tempo.....	14
Figura 6: Curva de Velocidade e Capacidade de Infiltração	15
Figura 7: Infiltrômetro de Anel	16
Figura 8: Formato de Calhas	23
Figura 9: Tipos de Infiltração em Revestimento Intertravado Permeável.....	25
Figura 10: Revestimento de Pacas de Concreto Permeável	26
Figura 11: Revestimento de Concreto Permeável	27
Figura 12: Revestimento de Mistura Asfáltica Permeável	28
Figura 14: Infiltração Total.....	29
Figura 15: Infiltração Parcial.....	30
Figura 16: Sem Infiltração.....	31
Figura 17: Pavimento Permeável em Declive	34
Figura 18: Fluxograma da Metodologia	38
Figura 19: Amostra de Infiltrômetro do Anel.....	39
Figura 20: Exemplo para Verificação da Área de Percolação da Junta Alargada.....	44
Figura 21: Pontos de Coleta de Amostras de Permeabilidade de Solo.....	46
Figura 22: Planta de Drenagem do Loteamento	51
Figura 23: Bloco Intertravado.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coeficientes de Escoamento	18
Tabela 2: Principais Danos Decorrentes de Inundações.....	22
Tabela 3: Tipo de Infiltração do Pavimento em Função das Condições Locais.....	32
Tabela 4: Valores Típicos de Coeficiente de Permeabilidade.....	33
Tabela 5: Percentuais de Ocupação de Área do Loteamento	36
Tabela 6 :Distribuição Granulométrica Recomendada para Material de Sub-base e/ou Base .	42
Tabela 7: Distribuição Granulométrica Recomendada para Camada de Assentamento	44
Tabela 8: Distribuição Granulométrica Recomendada para Material de Rejuntamento	44
Tabela 9: Taxa de Infiltração e Coeficiente de Permeabilidade.....	47
Tabela 10: Coeficientes de Permeabilidade de Solos Típicos.....	47
Tabela 11: Máximas Precipitações Anuais.....	48
Tabela 12: Variáveis e Resultado da Intensidade da Chuva de Projeto	48
Tabela 13: Densidades de Agregados Graúdos	49
Tabela 14: Variáveis e Resultado do Cálculo de Altura Ideal para Camada de Armazenamento	50
Tabela 15: Declividades dos Trechos.....	51
Tabela 16: Dimensionamento dos Drenos.....	53
Tabela 17: Composições Unitárias e Custos por Serviço.....	55

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	7
1.1	OBJETIVOS	7
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	8
2.1	HIDROLOGIA	8
2.1.1	Fatores Morfométricos.....	10
2.1.1.1	Morfologia de Bacias Horográficas	10
2.1.1.2	Drenagem em Bacias Hidrográficas	11
2.1.1.2.1	<i>Infiltração.....</i>	<i>12</i>
2.1.1.2.2	<i>Escoamento superficial.....</i>	<i>17</i>
2.1.2	Fatores Pluviométricos.....	19
2.1.2.1	Medição de Precipitação	19
2.1.2.1.1	<i>Chuva de projeto.....</i>	<i>20</i>
2.2	DRENAGEM URBANA	21
2.3	PAVIMENTOS PERMEÁVEIS.....	24
2.3.1	Tipologias De Revestimentos.....	25
2.3.1.1	Revestimento de Pavimento Intertravado Permeável	25
2.3.1.2	Revestimento de Pavimento de Placas de Concreto Permeáveis.....	26
2.3.1.3	Revestimento Permeável Moldado em Loco	27
2.3.1.3.1	<i>Revestimento de pavimento de Concreto Permeável</i>	<i>27</i>
2.3.1.3.2	<i>Revestimento de pavimento de Mistura Asfáltica Permeável</i>	<i>28</i>
2.3.2	Sistemas De Infiltração	28
2.3.2.1	Infiltração Total	29
2.3.2.2	Infiltração Parcial.....	29
2.3.2.3	Sem Infiltração.....	30
2.4	DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS	31
2.4.1	Dimensionamento Hidráulico.....	31
3	ÁREA DE ESTUDO.....	36
4	METODOLOGIA	38

4.1	PROJETO DE PAVIMENTO PERMEÁVEL	38
4.1.1	Permeabilidade do Solo.....	39
4.1.2	Chuva de Projeto	40
4.2	DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL.....	41
4.3	REVESTIMENTO	43
4.4	ORÇAMENTO	45
5	RESULTADOS	46
5.1	PERMEABILIDADE DO SOLO	46
5.2	CHUVA DE PROJETO	47
5.3	DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL.....	48
5.3.1	Dimensionamento da Camada de Armazenamento	49
5.3.2	Análise de Declividades.....	50
5.3.3	Dimensionamento dos Drenos	52
5.3.4	Revestimento	54
5.4	ORÇAMENTO	54
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
7	REFERÊNCIAS	61

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a demanda por construções de cunho ecológico vem aumentando consideravelmente no município de Canela, RS. Loteamentos e condomínios são projetados de modo a preservar ao máximo as matas nativas e trazer o proprietário mais próximo à natureza. Entretanto um campo ainda não explorado na região é o de formas alternativas de pavimentação, dentre elas o pavimento permeável. Pavimentos desse tipo têm como principal característica sua capacidade de, por infiltração natural, escoar a água das chuvas, que no contexto de construções amigáveis ao ambiente, conserva o nível dos lençóis freáticos e reduzem o escoamento superficial, evitando empoçamentos e alagamentos dessas regiões, permite também a inexistência de bueiros e canalizações, servindo de proteção a animais domésticos e crianças, bem como diminuindo a população de animais de geralmente habitam esgotos pluviais.

Esse trabalho se propõe a avaliar a viabilidade da implementação desse tipo de pavimentação em um futuro loteamento, em fase de anteprojeto, localizado na região norte da cidade, levando em consideração fatores locais de precipitação e permeabilidade do solo. Sendo feita a avaliação técnica do uso desse sistema, através do projeto hidráulico do pavimento, e uma análise e comparação de custos com pavimentos com sistemas tradicionais de drenagem.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade técnico-econômica de implementação do projeto de pavimento permeável em um loteamento no município de Canela, RS. Os objetivos específicos estão:

- a) Determinar a vazão de escoamento superficial e taxa de infiltração do solo da região;
- b) Avaliar o tipo de revestimento definido pela incorporadora;
- c) Selecionar o sistema de infiltração mais adequado ao solo;
- d) Elaborar o projeto básico de pavimentação permeável;
- e) Elaborar o orçamento do projeto.

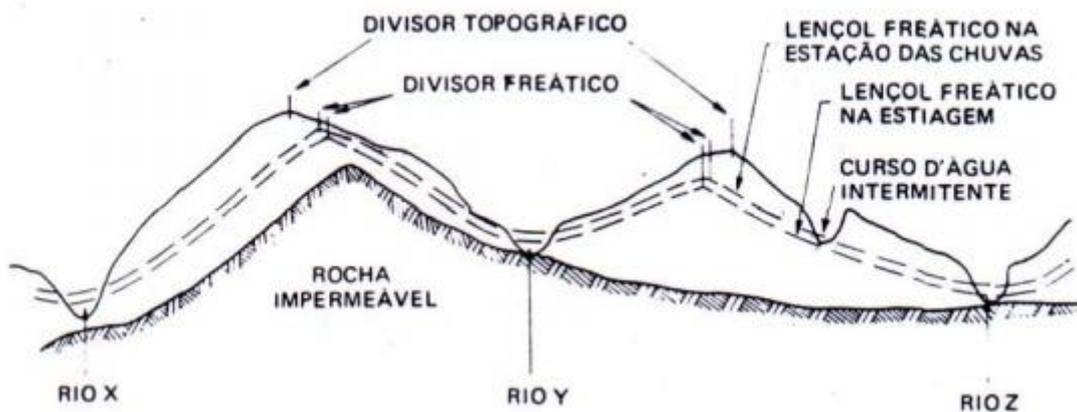
2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão apresentados embasamentos teóricos referentes aos fatores que afetam o dimensionamento de pavimentos permeáveis.

2.1 HIDROLOGIA

De acordo com Porto (2008), hidrologia consiste no estudo do ciclo hidrológico, isto é, distribuição, ocorrência e movimentação da água no planeta. Uma das áreas de atuação da hidrologia é o planejamento e controle de bacias hidrográficas, a fim de se prever, controlar e mitigar efeitos como inundações e enchentes, possível uso destas como áreas de implantação de usinas hidroelétricas, entre outros fins. Bacias hidrográficas consistem em regiões geográficas em que toda chuva ali despejada corre para uma mesma seção transversal do curso da água, que segue para um único ponto de saída: o exutório. Como apresentado por Porto (2008) estas são compostas por conjuntos de superfícies vertentes e redes de drenagem formadas por cursos da água, delimitadas por pontos elevados do relevo, formando divisores de água ou divisores topográficos, barreiras naturais que conduzem a água para uma determinada região como demonstrado na Figura 1.

Figura 1: Divisores Topográficos



Fonte: F. Carvalho et al., 2007.

O tamanho de uma bacia, segundo Porto (2008), depende da área de interesse a ser analisada, e a partir dela define-se o seu rio principal, secundários, até as nascentes sendo

delimitada pelos divisores topográficos. Dessa forma, dependendo da região de interesse, as bacias podem variar de 0,5 km², como em pequenas bacias urbanas, a 600.000 km², como no caso da bacia do Rio São Francisco. Essa delimitação pode ser observada na Figura 2.

Figura 2: Delimitação de Bacia Hidrográfica



Fonte: F. Carvalho et al., 2007.

Como descrito por Tucci (2007) as modificações causadas pelo homem em bacias hidrográficas, pelo uso e ocupação do solo através da retirada da cobertura vegetal e adensamento urbano, podem causar diversas implicações no ciclo hidrológico da bacia. Dentre os efeitos antrópicos causados a bacias, destacam-se: redução do nível do lençol freático devido a redução da infiltração de água no solo; aumento e antecipação da ocorrência do pico de vazão devido ao aumento do escoamento superficial e transporte acelerado da água da chuva até o exutório da bacia. Desta forma, para possível prevenção e gerenciamento de alterações hidrológicas, os autores Alvarenga et al. (2019) destacam a importância da análise de parâmetros morfométricos, consistindo na “análise quantitativa das relações existentes entre fisiografia da bacia e a dinâmica hidrológica e a dinâmica da bacia”, para assim realizar a avaliação do comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica.

Dentre os fatores fisiográficos, para análise do balanço hídrico em bacias, o autor Justino et al. (2011) destaca a área, forma, permeabilidade, capacidade de infiltração e

topografia. Estes fatores influenciam diretamente o dimensionamento de obras hidráulicas, “estruturas responsáveis pela redução das vazões máximas do escoamento superficial, atrasando sua propagação e aumentando a velocidade de escoamento” (ALVARENGA et al., 2019).

2.1.1 Fatores Morfométricos

As características morfométricas de uma bacia apresentam uma forma de prever como ela se comportará ao longo do tempo dada sua forma, declividade e densidade de rios, entre outros fatores. De acordo com essas características e o histórico pluviométrico da região, é possível a determinação das vazões encontradas na bacia, bem como a possibilidade de eventos como enchentes e inundações e o que pode ser feito para sua prevenção. O uso desse parâmetro foi a base de estudo utilizado por Deus et al. (2016) em seu artigo.

Todas essas características hidrológicas da região, segundo Deus et al. (2016) são usadas para a determinação das vazões presentes na bacia. Os principais fatores morfométricos de bacias são área, comprimento, forma, declividade, ordenamento, drenagem e uso do solo. Esses fatores culminarão no tempo de concentração da bacia, tempo necessário para que haja total contribuição da bacia para o escoamento da água.

2.1.1.1 Morfologia de Bacias Horográficas

A forma de uma bacia apresenta o seu comportamento em relação ao seu tempo de concentração. Para determinar sua forma, são necessários dois fatores: área e comprimento da bacia. Por formarem superfícies irregulares, é usualmente feito o uso de softwares para a determinação desses fatores. Deus et al. (2016) e Alvarenga et al. (2019) utilizaram sistemas SIG (Sistema de Informação Geográfica) em seus estudos, como ArcGIS 10.2.2 para a determinação da área, comprimento e declividade das bacias por eles analisadas.

A área de uma bacia em si não permite a realização de uma avaliação completa e confiável quanto ao seu tempo de concentração. Bacias com a mesma área (A) podem apresentar tempos de concentração diferentes dependendo da sua forma. Para essa determinação analisa-se também o comprimento total da bacia (L_b), que através da Equação 1 é utilizado para determinar o fator de forma (I) da bacia.

$$I = \frac{A}{Lb^2} \quad (1)$$

Quanto maior o resultado de I, mais rápido ocorrerão as cheias na bacia. A circularidade da bacia também é um fator importante. Assim, quanto mais circular a bacia menor é seu tempo de concentração. Esse índice de circularidade (Ic) pode ser calculado pela Equação 2 que leva em conta também o perímetro (P) da bacia.

$$Ic = \frac{4\pi \times A}{P^2} \quad (2)$$

Nesse caso, quanto mais próximo o Ic for de 1, mais circular é a bacia. Um terceiro fator que influencia diretamente o tempo de concentração e vazão na bacia é sua declividade (S). Quanto maior a declividade maior a velocidade de escoamento da água. Esta é calculada pela relação do comprimento do rio principal da bacia (L), em metros, e a variação de cota entre dois pontos em seu percurso (Z), em metros, aplicados na Equação 3.

$$S = \frac{Z1-Z2}{0,75 \times L} \quad (3)$$

2.1.1.2 Drenagem em Bacias Hidrográficas

A capacidade de drenagem de bacias é afetada por diferentes fatores como capacidade de infiltração e uso do solo, características geológicas e intensidade de precipitação da região. Uma das principais características morfométricas de uma bacia, que é um reflexo direto dessas características, é a densidade de drenagem (Dd). Como descrito por Costa (2015), essa se define como a densidade de rios presente em uma bacia que explica o comportamento hidrológico e litológico da região. Locais em que a infiltração é menor tendem a possuir um maior escoamento superficial, gerando maior ocorrência de rios e córregos, aumentando a densidade de drenagem da área. A determinação desse fator é uma relação direta entre a área da bacia e o comprimento total dos rios ali presentes (Lt), como apresentado na Equação 4.

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (4)$$

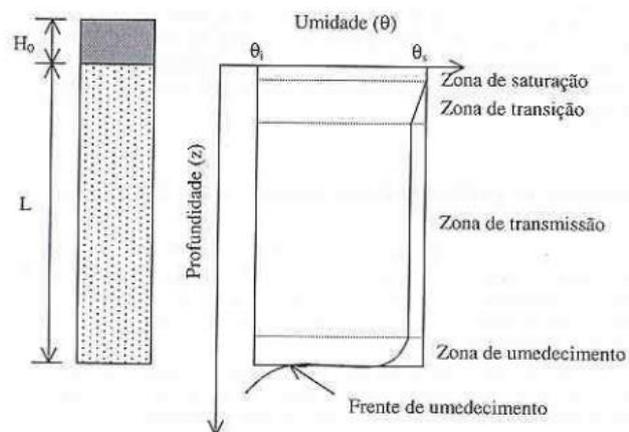
Valores elevados de densidade indicam baixa infiltração, alta precipitação e melhor definição dos canais. Carvalho, Mello e Silva (2007), apresentam classificações para os valores de densidade de drenagem em cinco tipos:

- Bacias com drenagem pobre: $Dd < 0,5 \text{ km/km}^2$
- Bacias com drenagem regular: $0,5 \leq Dd < 1,5 \text{ km/km}^2$
- Bacias com drenagem boa: $1,5 \leq Dd < 2,5 \text{ km/km}^2$
- Bacias com drenagem muito boa: $2,5 \leq Dd < 3,5 \text{ km/km}^2$
- Bacias excepcionalmente bem drenadas: $Dd \geq 3,5 \text{ km/km}^2$

2.1.1.2.1 Infiltração

Infiltração, como descrito por Carvalho, Mello e Silva (2007), é o nome dado ao processo em que a água penetra o solo. Este processo apresenta grande importância, uma vez que afeta diretamente o escoamento superficial, que é responsável por processos de erosão e inundações. Collischon e Tassi (2008) citam a importância da infiltração no processo de crescimento de vegetação, abastecimento de aquíferos e mantimento do fluxo de rios. Os autores relatam que após a penetração da água no solo e cessada a infiltração, a camada superior atinge um alto teor de umidade, ficando saturada, enquanto camadas inferiores do solo permanecem com baixos teores de umidade. Esse processo faz com que haja uma tendência de deslocamento descendente de água. O perfil de umidade do solo segue o perfil apresentado na Figura 3.

Figura 3: Perfil de Umidade do Solo



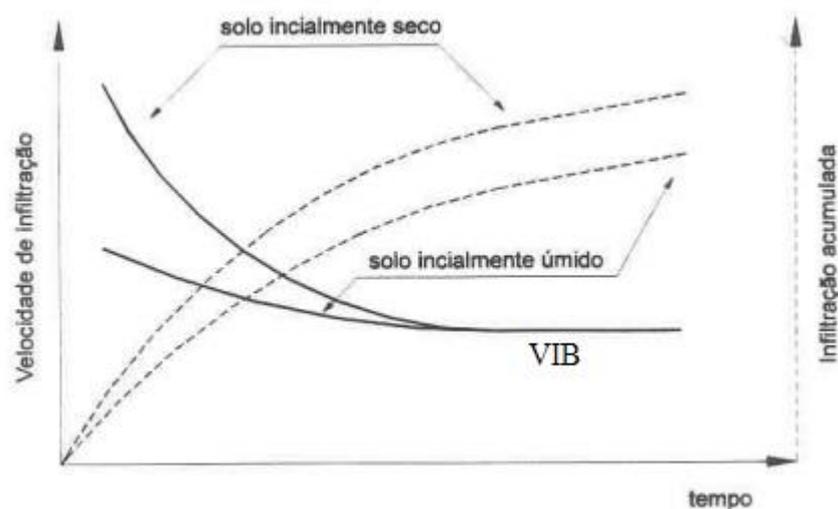
Fonte: F. Carvalho et al., 2007.

Como pode-se observar na Figura 3, o perfil de solo apresenta cinco zonas distintas de distribuição de umidade, sendo elas:

- Zona de saturação: é onde o solo se encontra saturado de umidade, com índice igual à capacidade máxima de absorção de água.
- Zona de transição: camada do solo cujo teor de umidade decresce rapidamente com a profundidade.
- Zona de transmissão: caracterizada por pouca variação de umidade em relação ao espaço e tempo.
- Frente de umedecimento: corresponde a uma região em que existe um grande gradiente hidráulico, com uma variação abrupta de umidade. Esta frente representa o limite visível de movimentação de água no solo.

A quantidade máxima de água que pode ser infiltrada no solo, em um determinado intervalo de tempo, é denominada de capacidade de infiltração (CI), expressa usualmente em mm/h (milímetros por hora). Esta apresenta valores elevados no início, diminuindo no decorrer de uma chuva até alcançar um valor constante após longo período de tempo. Neste ponto, o valor é denominado de taxa de infiltração estável (VIB) e é ilustrado na Figura 4, quando a velocidade de infiltração apresenta um valor constante.

Figura 4: Velocidade de Infiltração Acumulada em Função do Tempo



Fonte: Adaptado de F. Carvalho *et al.*, 2007.

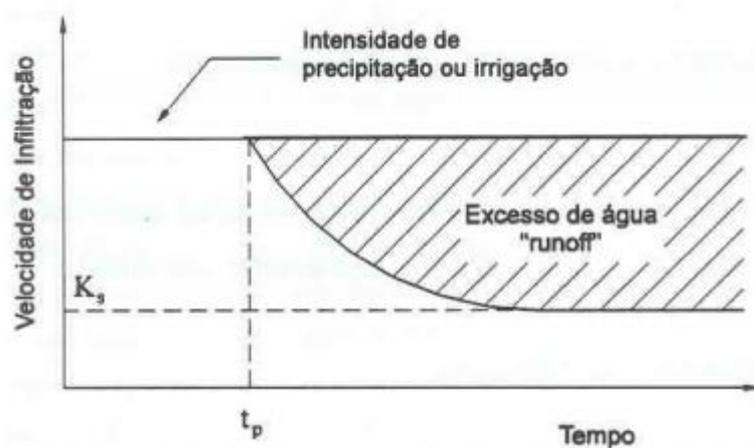
A capacidade de infiltração só é atingida em ocorrência de excesso de precipitação no período de chuva, como descrito por Collischon e Tassi (2008). Solos inicialmente secos

saturam-se à medida em que a água é percolada, diminuindo sua taxa de infiltração e fazendo com que a sua capacidade fique constante. Caso isso não ocorra, a taxa de infiltração não é máxima e não atinge os valores de CI. A taxa de infiltração (TI) é definida como velocidade que uma certa quantidade de água leva para infiltrar totalmente no solo, também expressa em mm/h. Essa é representada pela Equação 5, sendo o valor de I correspondente à infiltração acumulada em milímetros (mm) e T ao tempo em horas (h).

$$TI = \frac{dI}{dT} \quad (5)$$

Como descrito por Collischon e Tassi (2008), caso seja aplicada uma taxa elevada de água em um solo com baixa capacidade de infiltração, o solo ficará saturado e a taxa de infiltração correspondente ultrapassará sua capacidade. Dessa forma ocorrerá empocamento de água na superfície e escoamento superficial da água em uma taxa equivalente ao excedente à capacidade de infiltração. Quanto mais água é adicionada ao solo maior é a profundidade atingida pela frente de umedecimento. Com isso a TI vai reduzir substancialmente até atingir o valor constante, característico de cada solo. Dito isso, a TI depende diretamente da textura e estrutura do solo, do teor de umidade, da sua porosidade e da variação de permeabilidade ao longo do perfil.

Figura 5: Variação da Velocidade de Infiltração com o Tempo

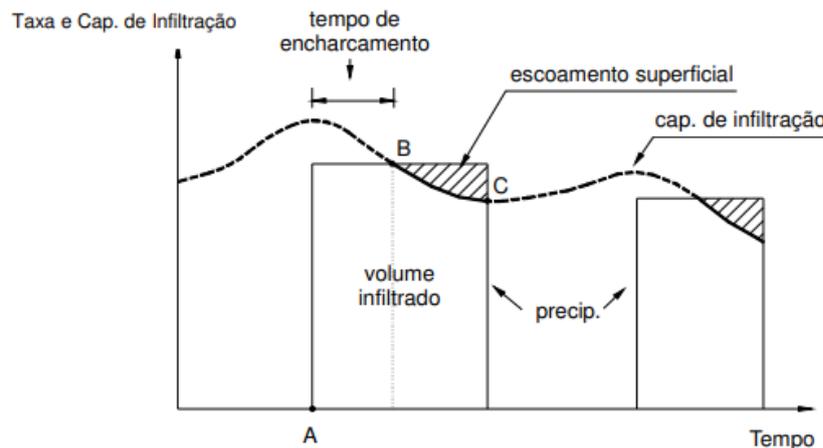


Fonte: F. Carvalho et al. (2007).

Como pode ser observado na Figura 5, a partir de um tempo t_p , a taxa de infiltração se iguala à sua capacidade máxima, passando a decrescer com o tempo e proporcionando o escoamento da água restante.

A Figura 6 apresenta o comportamento típico da capacidade de infiltração de solos em períodos de chuva. No instante “ $t = A$ ”, ocorre o aumento do teor de umidade do solo, com conseqüente redução de sua capacidade de infiltração; no tempo “ $t = B$ ”, a taxa de infiltração se iguala à sua capacidade de infiltração, que segue a decrescer, promovendo assim o escoamento superficial da água da chuva; no tempo “ $t = C$ ”, a chuva termina e o solo começa a recuperar sua capacidade de infiltração, dada a perda de umidade por evaporação. Esse comportamento se repete a cada ciclo de chuvas.

Figura 6: Curva de Velocidade e Capacidade de Infiltração



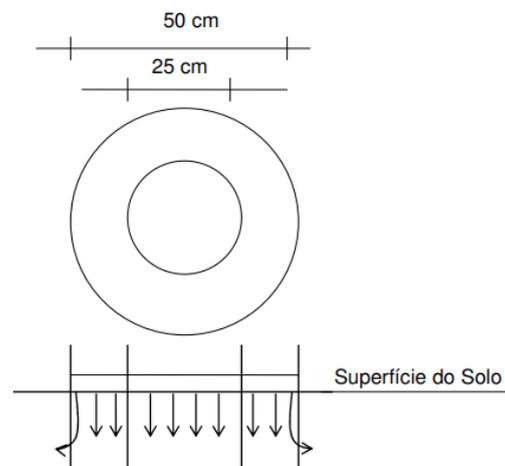
Fonte: F. Carvalho et al. (2007).

Os métodos utilizados para determinação da capacidade de infiltração em solo são:

- Infiltrômetro de duplo anel;
- Simuladores de chuva ou infiltrômetro de aspersão;

Infiltrômetro de anel é um instrumento de medição que consiste, basicamente, de dois cilindros concêntricos de material não permeável, em posição vertical, e um dispositivo para medição de volumes. Os cilindros apresentam diâmetros de 50 e 23 cm respectivamente, com 30 cm de altura cada. Os anéis devem ser instalados concentricamente e enterrados até 15 cm (CARVALHO, MELLO e SILVA, 2007), como apresentado na Figura 7.

Figura 7: Infiltrômetro de Anel



Fonte: F. Carvalho et al. (2007).

Neste teste, água é colocada nos dois anéis ao mesmo tempo e, com uma régua graduada, lê-se a “altura da lâmina da água no cilindro interno ou anota-se o volume de água colocado no anel” (CARVALHO, MELLO e SILVA, 2007). As medidas são feitas em intervalos de tempo pré-determinados. A variação da altura em diferentes intervalos de tempo apresenta a infiltração nesse período. A finalidade do anel externo é evitar a infiltração lateral da água do anel interno, o que influenciaria o resultado do teste.

Para determinar as taxas de infiltração, os resultados de tempo e variação da altura da água são aplicados na Formula 5. Quando os valores de TI permanecerem constantes, com variações inferiores a 10% no período de uma hora, encerra-se o teste. Com isso considera-se que o solo atingiu sua taxa de infiltração constante que equivale a sua capacidade máxima de infiltração.

O segundo método descrito por Carvalho, Mello e Silva (2007), simuladores de chuva, consiste de equipamentos que aplicam água por aspersão, com intensidade de precipitação que supera a capacidade de infiltração do solo. O objetivo desse teste é coletar a lamina de escoamento superficial originada de uma chuva cuja intensidade é superior à capacidade de infiltração do solo. Para que haja a medição, a água é aplicada em uma área delimitada por chapas metálicas, tendo uma abertura onde é coletada a água escoada. A TI é determinada pela diferença entre a intensidade da precipitação e a taxa de escoamento.

Este segundo teste se mostra mais confiável que o método dos anéis, uma vez que o segundo não apresenta os efeitos do impacto da chuva no solo, superestimando a capacidade de infiltração do solo. Outro fator que faz com que os resultados dos métodos sejam diferentes é a

lamina de água presente nos anéis, o que aumenta o gradiente de potencial que favorece a infiltração, como deduz o autor.

2.1.1.2.2 *Escoamento superficial*

O escoamento superficial consiste em uma fase do ciclo hidrológico, em que o corre o transporte da água na superfície terrestre. É uma fase muito importante, uma vez que grande parte dos estudos hidrológicos está relacionada à proteção contra fenômenos provocados por esse escoamento e ao aproveitamento dessa água. Abrange desde o excesso de precipitação que escorre sobre o terreno até o escoamento de rios (CARVALHO, MELLO e SILVA, 2007).

As principais grandezas que caracterizam o escoamento superficial de bacias, e são produtos diretos desses fatores, são: vazão, coeficiente de escoamento superficial, tempo de concentração e tempo de recorrência. Como visto anteriormente, esses fatores influenciam o escoamento superficial, descritos por Collischon e Tassi (2008) como a “precipitação de intensidade superior à capacidade de infiltração; e precipitação sobre solos saturados” e características morfométricas da bacia, como forma e declividade.

Descrito por Carvalho, Mello e Silva (2007), a vazão é a principal grandeza característica do escoamento, expressa em metros cúbicos por segundo (m^3/s) ou litros por segundo (L/s). Esta pode ser dividida em:

- Vazão média diária: média aritmética das vazões que ocorreram durante o dia, geralmente entre as 07:00 e 19:00.
- Vazão específica: vazão por unidade de área da bacia hidrográfica, expressa em $m^3/s/km^2$, $L/s/km^2$, $L/s/ha$. É uma forma de expressar a capacidade de escoamento superficial de uma bacia e serve como elemento comparativo entre elas.

A vazão (Q) pode ser calculada a partir da equação do método racional, usada para estimativa de escoamento superficial em pequenas bacias Collischon e Tassi (2008), de até 2 km^2 , conforme Equação 6, onde C representa o coeficiente de escoamento, A é a área da bacia analisada em quilômetros quadrados (km^2) e I é a intensidade da precipitação em milímetros por hora (mm/h).

$$Q = 0,27 \times C \times I \times A \quad (6)$$

O coeficiente de escoamento (C) é definido por Carvalho, Mello e Silva (2007) como a razão entre o volume de água escoado e o volume precipitado, conforme Equação 7. Pode descrever o comportamento de bacias em períodos de chuva isolados ou intervalos de tempo com diversas chuvas.

$$C = \frac{\text{Volume total escoado}}{\text{Volume total precipitado}} \quad (7)$$

Diferentes solos com diferentes coberturas e declividades apresentam valores característicos de C. Estes estão expressos na Tabela 1.

Tabela 1: Coeficientes de Escoamento

Descrição da área de drenagem		Valores Típicos de C
Residenciais	Unifamiliar	0,30 - 0,50
	Edifícios com área verde contínua	0,60 - 0,75
	Áreas residenciais com ocupação densa	0,70 - 0,95
	Áreas residenciais suburbanas	0,25 - 0,40
Áreas comerciais densamente ocupadas		0,80 - 0,95
Indústrias	Densas	0,60 - 0,90
	Pouco densas	0,50 - 0,80
Vias asfaltadas ou concretadas		0,70 - 0,95
Vias com calçamento tipo paralelepípedo		0,70 - 0,85
Áreas de estacionamento pavimentadas		0,80 - 0,95
Áreas verdes e parques		0,10 - 0,25
Cemitérios		0,10 - 0,80
Áreas desocupadas		0,10 - 0,60

Fonte: Adaptado de Baptista, Nascimento e Barraud (2011).

Como observado, os valores de coeficiente de escoamento apresentam valores variando de 0 a 1,0 dependendo das características de ocupação do solo. Quando a bacia apresenta mais de uma forma de ocupação do solo, faz-se necessário o uso de média ponderada para a determinação do coeficiente da bacia, como visto na Equação 8.

$$C = \frac{C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_x}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_x} \quad (8)$$

Áreas cobertas por vegetação mais densa tendem a possuir menos escoamento superficial quando comparado com áreas de vegetação leve. Isso se deve à maior interceptação

da água pelas árvores, gerando menos escoamento superficial. Além disso há maior retirada da água infiltrada no solo pelas mesmas, aumentando sua capacidade de armazenamento. Por outro lado, quanto mais urbanizada a área, mais impermeável é o solo e maior é o escoamento superficial.

Cabe ressaltar, entretanto, que na pesquisa de Alvarenga et al. (2019) foi realizada uma simulação, substituindo áreas referentes a vegetação úmida e secas, pastagens e vegetação de baixo porte (11,41% da bacia analisada), por vegetação densa e não houve variação significativa do coeficiente de escoamento resultante da média ponderada. Por fim, a taxa de infiltração é definida como a quantidade máxima de água infiltrada no solo em um determinado período de tempo, sendo geralmente expressa em mm/h.

2.1.2 Fatores Pluviométricos

Estes fatores representam a precipitação de chuvas. Precipitação é entendida por Carvalho, Mello e Silva (2007) como água proveniente da atmosfera depositada na superfície terrestre em forma de chuva, granizo, neblina, neve, orvalho ou geada. De acordo com Collischon e Tassi (2008) esta é a principal forma de entrada da água em uma bacia hidrográfica.

Para a formação de precipitações, alguns elementos são necessários: umidade atmosférica, originária da evapotranspiração; mecanismos de resfriamento do ar, em que quanto menor a temperatura do ar menor é sua capacidade de suportar água em vapor, culminando de sua condensação; núcleos higroscópios, partículas que possuem afinidade por moléculas de água, como sais; e por fim, mecanismos de crescimentos de gotas, sendo esses coalescência, que é o processo de crescimento por choque entre gotas menor, e difusão de vapor, que é a “condensação de vapor de água sobre a superfície de uma gota pequena” (CARVALHO, MELLO e SILVA, 2007).

2.1.2.1 Medição de Precipitação

Como descrito por Collischon e Tassi (2008) a medição das precipitações é realizada com a utilização de instrumentos pluviômetros e pluviógrafos, que são compostos de recipientes para coleta de água precipitada com dimensões padronizadas.

Medidas em pluviômetros são periódicas, geralmente em intervalos de 24 horas, realizadas de maneira manual. Estes relatam a altura pluviométrica, descrita como a lâmina de água precipitada sobre a área do aparelho, medida em milímetros (mm); intensidade de precipitação, que é a relação entre a altura pluviométrica e a duração da chuva, usualmente expressa em milímetros por hora (mm/h) ou milímetros por minuto (mm/min); e duração da chuva, expressa em horas ou minutos. Pluviógrafos são aparelhos de medição automática que permitem o estudo da relação intensidade-duração-frequência (IDF) de chuvas. Estes aparelhos possuem superfície receptora de 200 cm².

Hoppe e Wolmann (2018) confeccionaram pluviômetros de PVC de 16 mm de diâmetro, em estudo relacionado. Neste caso a medição da precipitação da chuva era feito no primeiro dia de cada mês, resultando na análise da precipitação mensal, durante o ano de 2014.

Com isso o autor pôde chegar à conclusão da maior ocorrência de precipitação nos primeiros seis meses do ano. Fato explicado por ele pelas chuvas convectivas, comuns no período do verão devido a intensa evapotranspiração provocados pelas altas temperaturas da região do município de Agudo, RS.

Os dados retirados dessas análises são gráficos hectogramas que apresentam as chuvas por período de tempo, geralmente em horas, e seu total acumulado. Com isso pode-se analisar as grandezas de total precipitado (P), duração da chuva (T) e intensidade da chuva (I), que é expressa na Equação 9.

$$I = \frac{P}{T} \quad (9)$$

A intensidade da chuva pode ser assim analisada:

- Média: durante todo o período de ocorrência da chuva.
- Máxima: em que se analisa o maior período de precipitação durante o período total da chuva.
- Média do dia: analisando as 24 horas.

2.1.2.1.1 *Chuva de projeto*

Para a determinação de chuvas de projeto torna-se importante o conhecimento de dados como a frequência e intensidade de chuvas e a quantidade de precipitação que atinge a área a ser analisada. Para tal, é usado o fator tempo de retorno, que é descrito como “o período de tempo médio em que um determinado evento é igualado ou superado pelo menos uma vez”

(CARVALHO, MELLO e SILVA, 2007). O tempo recomendado varia de autor para autor, a ABNT NBR 16416 (2015) recomenda estimativas com tempos de 2, 5, 10, 50 e 100 anos. O plano diretor de drenagem urbana do município de Porto Alegre, por exemplo, utiliza tempos entre 25 e 100 anos. Já a cidade do Rio de Janeiro utiliza 10, 25 ou 50 anos dependendo do que será dimensionado. Alvarenga *et al.* (2019) utilizou períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos em dois cenários, o primeiro utilizando os usos reais do solo e o segundo com a substituição com a mata densa. Esse fator é descrito na Equação 10, em que “Prob” indica a probabilidade do evento ser superado ou igualado.

$$Tr = \frac{1}{Prob} \quad (10)$$

Tal fator é utilizado na construção e análise do gráfico IDF, que é gerado a partir da análise e cálculo de dados sobre a duração, intensidade e frequência da chuva. A Equação 11 é utilizada para a determinação da intensidade de projeto a partir do tempo de retorno e duração da chuva, em que “Td” é o tempo de duração da chuva em minutos, “Tr” é o tempo de retorno e os fatores “a”, “b”, “c” e “d” são constantes características do local de estudo.

$$I = \frac{a \times Tr^b}{(Td+c)^d} \quad (11)$$

Assim forma-se o gráfico IDF com curvas relativas ao tempo de retorno com a variável em x sendo a duração da chuva, geralmente em minutos, e a variável y correspondendo à intensidade máxima da chuva, em mm/h.

Outros estudos, tais como “Curvas IDF para Caxias do Sul e Região”, de 2009, analisaram dados de quatro postos pluviométricos na região de Caxias do Sul (Farroupilha, Jansen, Nova Palmira e Vila Seca) com séries históricas de 41, 40, 52 e 30 anos respectivamente. analisando períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, e durações de chuva de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 720 e 1440 minutos.

2.2 DRENAGEM URBANA

O deslocamento da água pluvial nas áreas urbanas, proveniente dos índices pluviométricos, leva ao conceito de drenagem urbana, que é desenvolvido dentro de premissas estruturais com o objetivo de escoar vazões de montante a jusante. Entretanto, esse processo

tem provocado um aumento de casos de alagamentos e enchentes, devido ao entupimento dos sistemas de drenagem, decorrente de sedimentos (TUCCI e COLLISCHONN 1998).

Como descrito por Garcia e Bertequini (2018), em seu trabalho sobre pavimentos permeáveis, o problema de enchentes e alagamentos torna-se cada vez mais comum na vida de muitos brasileiros. Estas mostram-se um problema, principalmente em grandes centros urbanos que crescem desordenadamente, causando diversos danos ao patrimônio e aos moradores de regiões afetadas. Em casos mais graves pode ser necessária a evacuação dos imóveis afetados. Em artigo publicado por Licco e Dowell (2015) sobre os impactos socioeconômicos de enchentes e alagamentos, os autores apresentam os principais danos tangíveis e intangíveis, diretos e indiretos causados em decorrência das inundações na Tabela 2.

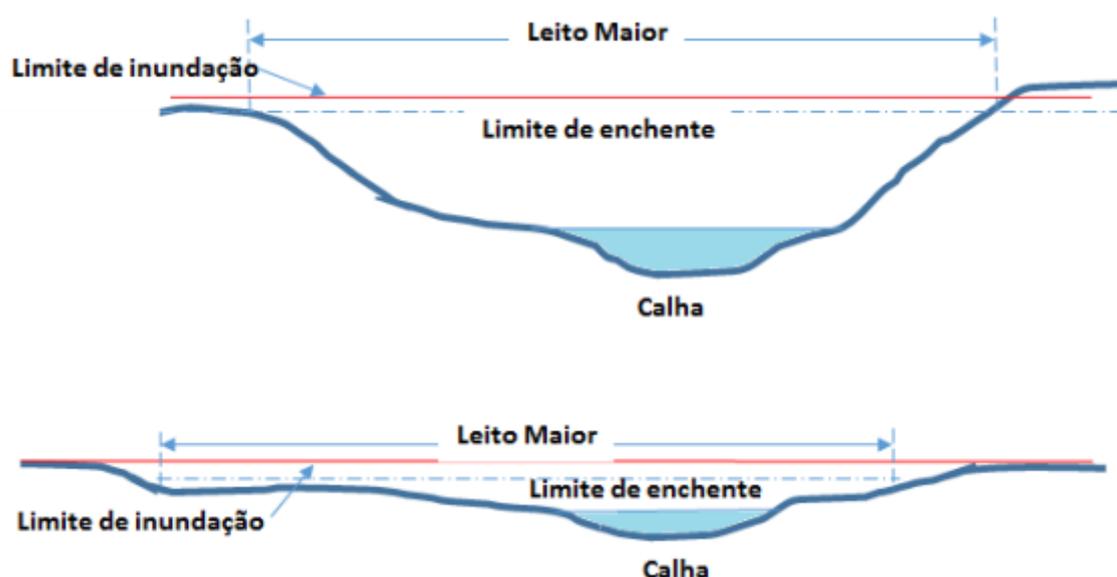
Tabela 2: Principais Danos Decorrentes de Inundações

Danos Tangíveis	
Diretos	Indiretos
Danos físicos aos domicílios: construção e conteúdo das residências	Custos de limpeza, alojamento e medicamentos. Realocação do tempo e dos gastos na reconstrução. Perda de renda.
Danos físicos ao comércio e serviços: construção e conteúdo (mobiliário, estoques, mercadorias em exposição, etc.)	Lucros cessantes, perda de informações e base de dados. Custos adicionais de criação de novas rotinas operacionais pelas empresas. Efeitos multiplicadores dos danos nos setores econômicos interconectados.
Danos físicos aos equipamentos e plantas industriais.	Interrupção da produção, perda de produção, receita e, quando for o caso, de exportação. Efeitos multiplicadores dos danos nos setores econômicos interconectados.
Danos físicos à infraestrutura.	Perturbações, paralisações e congestionamento nos serviços, custos adicionais de transporte, efeitos multiplicadores de danos sobre outras áreas.
Danos Intangíveis	
Diretos	Indiretos
Ferimentos e perda de vida humana. Doenças pelo contato com água, como resfriados e infecções.	Estados psicológicos de stress e ansiedade. Danos de longo prazo à saúde.
Perda de objetos de valor sentimental. Perda de patrimônio histórico ou cultural.	Falta de motivação para o trabalho. Inconvenientes de interrupção e perturbações nas atividades econômicas, meios de transporte e comunicação.

Fonte: Adaptado de Licco e Dowell (2015).

Conforme Licco e Dowell (2015), o conceito de inundação consiste em transbordamento de um curso d'água atingindo sua planície adjacente. Já enchentes são definidas como o aumento do nível d'água em canais de drenagem, atingindo sua cota máxima, porém sem extravasar. Outra forma de diferenciar esses dois fenômenos é olhar para suas calhas, em regiões montanhosas estas são mais definidas e com uma maior profundidade. Por outro lado, em regiões planas estas calhas apresentam uma profundidade muito menor que sua largura, desta forma são menos definidas e mais propensas a gerar alagamentos. Portanto, enchentes seriam variações do nível d'água sem o transbordamento da calha, enquanto inundação é o nome que se dá quando a calha é transbordada. A Figura 8 ilustra a variação no formato de calhas.

Figura 8: Formato de Calhas



Fonte: Adaptado de Licco e Dowell (2015).

Essa situação é agravada pela baixa taxa de permeabilidade presente nesses centros urbanos, causados pelas grandes áreas impermeáveis de mistura asfáltica, calçadas e construções. Tais métodos construtivos diminuem a quantidade de água infiltrada no solo e aumentam a vazão escoada pela superfície, que precisará ser drenada pela rede de drenagem urbana.

Baptista, Nascimento e Barraud (2011), dividem os sistemas atuais de drenagem em clássicos e alternativos. Os sistemas clássicos consistem basicamente de dispositivos de microdrenagem, transportando águas superficiais nas ruas com o uso de sarjetas, bocas de lobo,

e condutos enterrados destinados ao transporte das águas até desague ou sistemas de macrodrenagem, estes sendo constituídos de canais abertos ou enterrados de grande porte, como galerias. As técnicas alternativas de drenagem se diferenciam das clássicas por considerar os impactos globais da urbanização, tomando toda a bacia hidrográfica como base de estudo. Algumas dessas técnicas incluem bacias ou reservatórios de retenção, estruturas para armazenamento temporário, canalização de cursos de água e estruturas que favorecem a infiltração como pavimentos porosos.

2.3 PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

Pavimentação permeável é uma técnica de drenagem alternativa, definida no seminário Água em Ambientes Urbanos (2014) como “sendo aqueles que possuem espaços livres em sua estrutura por onde a água pode escoar, podendo infiltrar no solo ou ser transportada através de sistema auxiliar de drenagem”. Em estruturas de pavimentos permeáveis, a água é rapidamente infiltrada na camada de revestimento poroso, composto por uma camada de mistura asfáltica ou concreto permeável com espessuras, geralmente, entre cinco e dez centímetros. Filtros separam o revestimento da câmara ou reservatório de pedras, com agregados 3,8 a 7,6 centímetros de diâmetro. A partir desse reservatório a água pode ser infiltrada pelo solo ou coletada por tubos de drenagem e conduzida até uma saída. Desta forma a capacidade de armazenamento de pavimentos porosos é determinada pela profundidade desse reservatório e pelo escoamento perdido pela infiltração no solo. No Brasil a norma técnica responsável por esse tipo de pavimento é a ABNT NBR 16416 (2015).

Como uma forma de aumentar as áreas permeáveis e reduzir o escoamento superficial em centros urbanos, os pavimentos porosos se mostram como uma alternativa válida. De acordo com as simulações realizadas por Araújo, Tucci e Goldenfum (1996) os pavimentos semipermeáveis apresentam uma redução de 50% a 75% no volume de água escoada. Já nos pavimentos permeáveis praticamente não houve escoamento superficial, o autor entretanto reitera que em volumes de chuva acima do analisado pode haver redução de sua eficiência.

Além dos fatores apresentados acima, Baptista, Nilo e Barraud (2011) apresentam que o custo de implementação de tal sistema é relativamente similar aos de pavimentos tradicionais, Porém os riscos de colmatção, que é a obstrução dos poros permeáveis por esmagamento ou entupimento por detritos, intrínsecos ao sistema, podem gerar uma redução de sua vida útil e aumentar seu custo de manutenção.

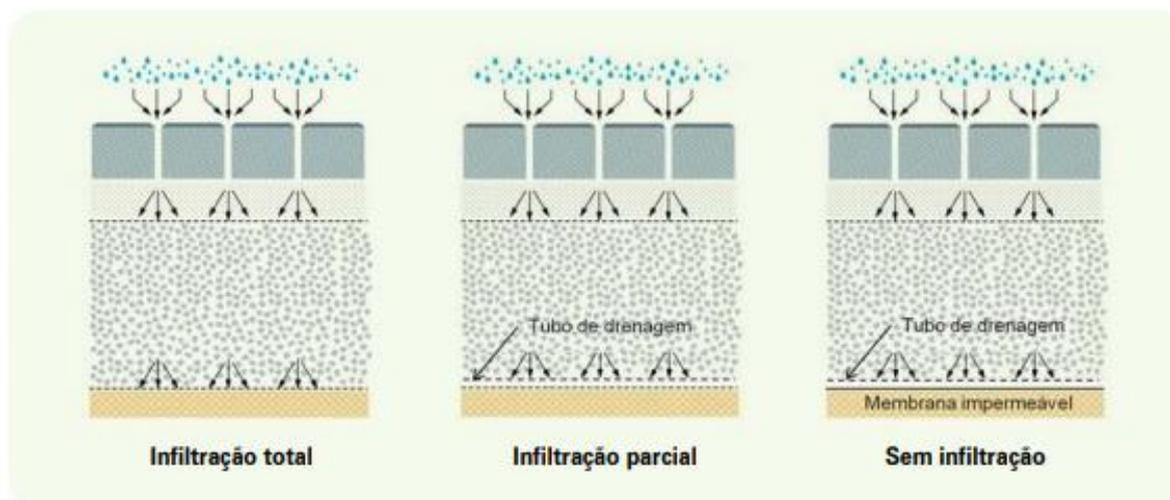
2.3.1 Tipologias De Revestimentos

Os pavimentos permeáveis podem ser construídos usando alguns métodos, entre eles se destacam revestimentos de blocos intertravados, placas de concreto permeáveis pré-moldadas e revestimentos moldados em loco.

2.3.1.1 Revestimento de Pavimento Intertravado Permeável

Este tipo de revestimento é composto por peças pré-moldadas de concreto (PPC), onde a água é percolada pelas juntas entre as peças de concreto, de acordo com a ABNT NBR 16416 (2015). Abaixo da camada de revestimento de PPC, existe a camada de assentamento das peças e do material de rejunte, camadas de base e sub-base e por fim o subleito, material do terreno, como descrito por Araújo, Tucci e Goldenfum (1996). Mantas geotêxtis entre camadas e/ou tubulações para escoamento de água podem estar presentes dependendo da concepção de dimensionamento de projeto, conforme Figura 9.

Figura 9: Tipos de Infiltração em Revestimento Intertravado Permeável



Fonte: ABCP (2010).

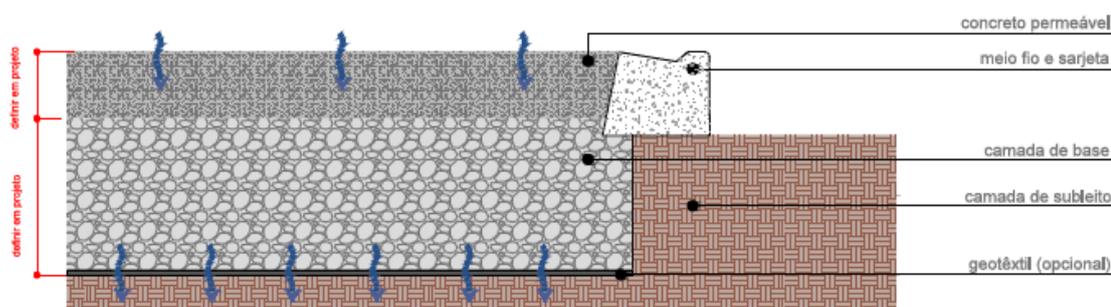
As peças de concreto possuem diversos formatos, padrões e cores a depender da empresa que a produz. Apesar dessas características variáveis, todas devem seguir os padrões descritos em norma ABNT NBR 9781 (2013). Existem algumas variações do método, como apresentado na própria ABNT NBR 16416 (2015), em que os blocos podem, também, serem permeáveis ou vazados, aumentando a taxa de permeabilidade do pavimento.

A ABNT NBR 16416 também apresenta espessuras e resistências mínimas para as camadas de revestimentos. Para blocos intertravados, sua espessura mínima deve ser de 60 ou 80mm a depender se este será empregado para tráfego de pedestres ou leve. A resistência a compressão mínima do concreto empregado deve ser de 35 MPa, quando a infiltração ocorre pelas juntas, e 20 MPa quando o bloco for permeável. Os respectivos ensaios devem ser realizados de acordo com a ABNT NBR 9781 (2013).

2.3.1.2 Revestimento de Pavimento de Placas de Concreto Permeáveis

Como descrito pela ABNT NBR 16416 (2015), este revestimento consiste em placas de concreto pré-moldadas permeáveis. Este sistema se difere do modelo descrito anteriormente, com PPC permeável, por não apresentar intertravamento. Da mesma forma no item 3.3.1.1, as camadas seguintes são compostas por uma camada de assentamento, base, sub-base e a camada de solo natural do terreno, como pode ser observado na Figura 10. A presença de mantas impermeabilizantes e tubulações para escoamento de água dependem das características do projeto, como apresentado no item 3.3.

Figura 10: Revestimento de Pacas de Concreto Permeável



Fonte: ABCP (2013).

Para ser permeável, este tipo de concreto possui baixo índice de agregados finos, podendo não possuir tal agregado, com índice de vazios variando entre 15 e 25%, e coeficiente de permeabilidade, em média, de aproximadamente 0,34 cm/s, como descrito na publicação da Associação Brasileira de Cimento Portland (2013).

Os valores mínimos de espessura para esse método seguem os descritos pela ABNT NBR 16416 (2015) com 60 ou 80 mm a depender do tráfego a que esse pavimento será

submetido, de pedestres ou leve respectivamente. Sua resistência à flexão mínima deve ser de 2 MPa conforme ABNT NBR 15805 (2015).

2.3.1.3 Revestimento Permeável Moldado em Loco

Diferente dos itens 3.3.1.1 e 3.3.1.2, este método consiste no revestimento ser moldado no local, em concreto ou mistura asfáltica permeável. Como descrito por CIRIA (2007), os pavimentos moldados em loco, tanto em mistura asfáltica como em concreto, apresentam seis camadas:

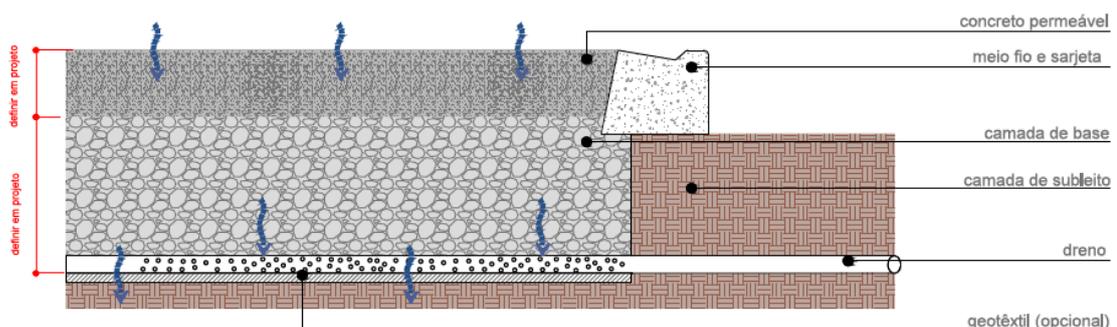
- Camada de revestimento, composta de mistura asfáltica ou concreto;
- Filtro granular;
- Reservatório de brita n°3 e n°4;
- Uma segunda camada de filtro granular;
- Manta geotêxtil;
- Solo nativo.

Como nos casos anteriores, a existência de mantas permeáveis e/ou tubulações para escoamento da água varia com as definições do projeto.

2.3.1.3.1 Revestimento de pavimento de Concreto Permeável

Da mesma forma que ocorre com as placas de concreto, este apresenta pouco ou nenhum agregado miúdo, obtendo-se um índice de vazios de 15 a 25%, como também descrito por Garcia e Berthequini (2018). Uma possível configuração de suas camadas pode ser observada na Figura 11.

Figura 11: Revestimento de Concreto Permeável



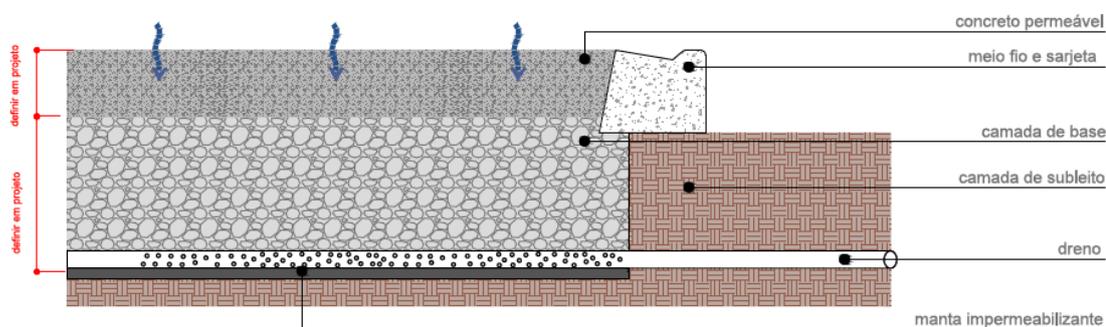
Fonte: ABCP (2013).

A ABNT NBR 16416 (2015) determina utilização de espessuras mínimas de 60 a 100 mm, para casos de tráfego de pedestres ou de tráfego leve, respectivamente. A tabela apresentada em norma também informa que a resistência mínima à tração na flexão para esses casos será, respectivamente, 1 e 2 MPa, conforme ABNT NBR 12142 (2010).

2.3.1.3.2 *Revestimento de pavimento de Mistura Asfáltica Permeável*

A mistura asfáltica permeável apresenta características muito similares aos convencionais, porém seu agregado miúdo, areia fina, é reduzido ou totalmente removido da mistura (GARCIA e BERTEQUINI, 2018). Devido a essas características, a mistura asfáltica apresenta um índice de vazios que varia de 18 a 25%, permitindo-se assim a absorção de água. A distribuição de suas camadas estruturais é a mesma de outros revestimentos, uma possível distribuição pode ser observada na Figura 12.

Figura 1213: Revestimento de Mistura Asfáltica Permeável



Fonte: ABCP (2013).

Além da permeabilidade, esse tipo de pavimento apresenta maior aderência do pneu com a mistura asfáltica e redução do ruído durante a rolagem.

2.3.2 **Sistemas De Infiltração**

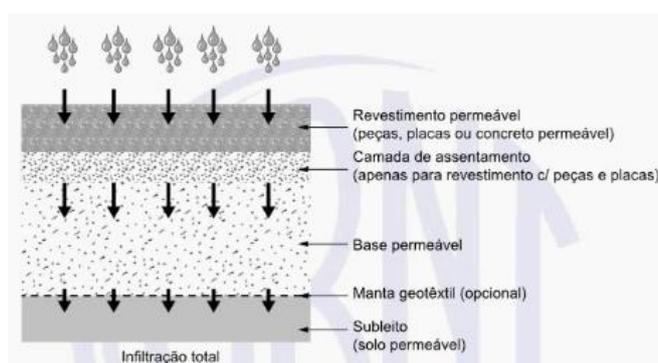
De acordo com Suzuki, Azevedo e Júnior (2013), o projeto de pavimentos permeáveis pode se encaixar em três categorias básicas, dependendo da capacidade de infiltração do solo e do armazenamento de água proveniente do reservatório. Estes podem ser pavimentos com

infiltração total da água no solo, sistemas sem nenhuma infiltração ou sistema intermediário de infiltração parcial.

2.3.2.1 Infiltração Total

Este sistema se caracteriza pela infiltração total da água no solo que compõe o subleito e pode ser utilizado em solos com altas taxas de permeabilidade, superiores a 10^{-3} m/s, ou quando o lençol freático for baixo, como exposto por Garcia e Bertequini (2018). De acordo com Smith (2006), este é o sistema mais aplicado. Como pode ser observado na Figura 14, este sistema não possui camadas impermeabilizantes nem drenos para escoamento da água.

Figura 14: Infiltração Total



Fonte: ABNT NBR 16416 (2015).

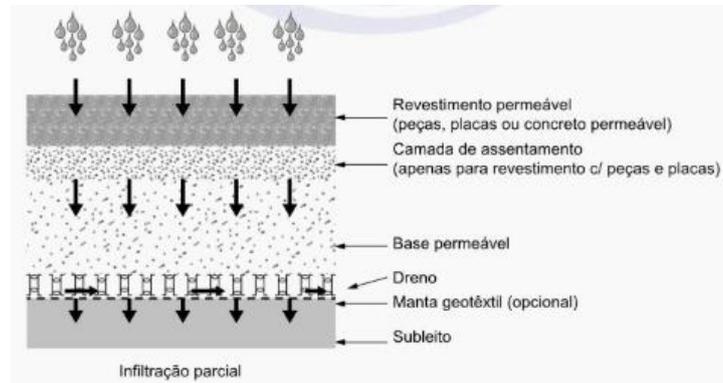
Este sistema foi utilizado por Junior e Barbassa (2005), onde avaliaram os parâmetros de projeto de micro reservatórios e pavimentos permeáveis, no município de Jaboticabal, no estado de São Paulo. Os parâmetros analisados foram: tipo de solo, nível do lençol freático, profundidade da camada permeável, topografia, entre outros. Dadas as características físicas e hidrológicas da região foi optado o uso de infiltração total, uma vez que o solo suportaria, sem a ocorrência de danos estruturais, os volumes de chuva encontrados no artigo.

2.3.2.2 Infiltração Parcial

Nesta variação, como descrito por Garcia e Bertequini (2018), existe um revestimento impermeável associado ao coletor. Desta forma parte da água percolada é infiltrada pelo subleito, mas parte é retirada do sistema por drenos presentes entre a base permeável e o

subleito, como apresentado na Figura 15. Este sistema pode ser aplicado para solos com taxa de permeabilidade entre 10^{-3} e 10^{-5} m/s.

Figura 15: Infiltração Parcial



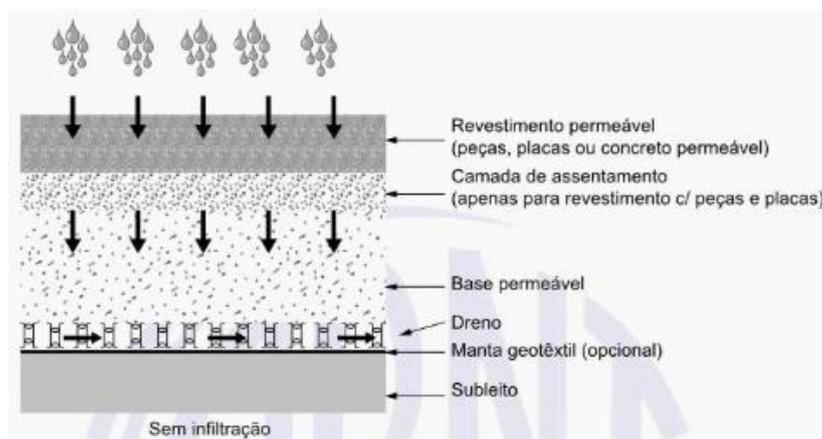
Fonte: ABNT NBR 16416 (2015).

Um sistema de infiltração parcial foi optado por Acioli (2005) em seu estudo do uso de pavimentos permeáveis para controle de escoamento superficial. A escolha desse sistema se deve às características do solo analisado, que evidenciaram um solo com pouca permeabilidade e grande parcela de argila. Desta forma foram instalados drenos sobre a camada de brita do pavimento.

2.3.2.3 Sem Infiltração

Neste sistema toda a água infiltrada pelo revestimento é armazenada nas camadas de base e então removida por drenos que, de acordo com Garcia e Bertequini (2018), são perfurados e espaçados em três a oito metros. Concomitantemente, este sistema possui uma manta impermeável sobre a camada do subleito, que impede a infiltração da água no solo, como observado na Figura 16. Independente das características do solo, não há impedimentos para o uso desse sistema.

Figura 16: Sem Infiltração



Fonte: ABNT NBR 16416 (2015).

Esse método foi utilizado por Salomão *et al.* (2019) onde o solo analisado possui um alto índice de penetração no solo a partir de 1,2 metros de profundidade. Desse modo, pela grande profundidade e característica argilosa do solo, optou-se pelo método sem infiltração, assim o pavimento funciona como um grande reservatório até o escoamento total da água pelos drenos.

2.4 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

O dimensionamento de pavimentos permeáveis consiste de duas partes: dimensionamento hidráulico e mecânico. Para isso, como descrito por Daiana B. Furtado (2017), faz-se necessário a definição do pavimento que será implementado, tipo de solo, tráfego, chuva de projeto e área de contribuição do local.

2.4.1 Dimensionamento Hidráulico

Vaks (2018) apresenta, em seu artigo sobre o estudo de caso de dimensionamento de pavimento permeável em um estacionamento, o mecanismo de pavimentos permeáveis como “utilizando rápida percolação da água em sua estrutura para seu armazenamento temporário e escoamento lento”. Dessa forma a camada de armazenamento é um dos elementos mais importantes do projeto.

O primeiro passo para o dimensionamento hidráulico de pavimentos é determinar o tipo de infiltração que será utilizada. A ABNT NBR 16416 (2015) apresenta uma relação em que o sistema de infiltração é baseado na permeabilidade do subleito, Tabela 3.

Tabela 3: Tipo de Infiltração do Pavimento em Função das Condições Locais

Condições Locais		Infiltração Total	Infiltração Parcial	Sem Infiltração
Permeabilidade do subleito definida pelo coeficiente de permeabilidade k (m/s)	$> 10^{-3}$	✓	✓	✓
	10^{-3} a 10^{-5}	✗	✓	✓
	10^{-5} a 10^{-7}	✗	✗	✓
Máximo registro do lençol freático a pelo menos 1,0 m da camada inferior da base		✗	✗	✓
Presença de contaminantes no subleito		✗	✗	✓

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 16416 (2015).

O coeficiente de permeabilidade (K) pode ser determinado utilizando o método do infiltrômetro do anel, apresentado no item 1.5.1.2.1, com seus resultados sendo substituídos na Equação 12.

$$K = \frac{C \times m}{(d^2 \times t)} \quad (12)$$

Onde:

- m = massa de água infiltrada em quilogramas (kg).
- d = diâmetro interno do anel de infiltração em milímetros (mm)
- t = tempo necessário para percolação total da água no solo em segundos (s)
- C = fator de conversão de unidades do sistema SI, valor igual a 4583666000

Com isso, a ABNT NBR 16416 (2015) apresenta uma relação com o grau de permeabilidade do solo dependendo do seu coeficiente, apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Valores Típicos de Coeficiente de Permeabilidade

Coeficiente de Permeabilidade do solo k		Grau de Permeabilidade do solo
m/s	mm/h	
$> 10^{-3}$	> 3.600	alta
10^{-3} a 10^{-5}	3.600 a > 36	média
10^{-5} a 10^{-7}	36 a $> 0,36$	baixa
10^{-7} a 10^{-9}	$0,36$ a $0,0036$	muito baixa
$< 10^{-9}$	$< 0,0036$	praticamente impermeável

Fonte: Adaptado de NBR 16416.

Em seguida, como expresso por Furtado (2017), faz-se necessária a determinação da chuva de projeto e gráfico das curvas IDF. Para isso é usada a equação 18 substituindo-se os valores de a, b, c e d pelos característicos da região. Como dito no item 1.5.2.2.1, a ABNT NBR 16416 (2015) recomenda a utilização de tempos de retorno de 2, 5, 10, 50 e 100 anos, entretanto esses valores variam de acordo com o plano diretor de cada município.

Com esses dados Smith (2006) apresenta a Equação 13, utilizada para a determinação da espessura máxima da camada de armazenamento (d) de água do subleito.

$$d_{max} = f \times \frac{T_s}{V_r} \quad (13)$$

Onde:

- f: coeficiente de permeabilidade do solo, em metros por hora (m/h).
- Ts: Tempo máximo de armazenamento da água.
- Vr: Porosidade do agregado.

A porosidade, como apresentada por B. Furtado (2017), pode ser determinada pela Equação 14.

$$V_r = 1 - \frac{\gamma_d}{G_s \times \gamma_w} \quad (14)$$

Onde:

- γ_d : Densidade seca do material, em g/cm^3 .
- G_s : Densidade real dos grãos, em g/cm^3 .
- γ_w : Densidade da água, em g/cm^3

Vaks (2018) recomenda a utilização da altura máxima de precipitação em 24 horas para o tempo de retorno definido em projeto e um limite no tempo de armazenamento da água de três dias, para que não haja saturação contínua do solo nem diminuição de sua resistência.

Para pavimentos em planos inclinados, Vaks (2018), salienta a necessidade de redimensionamento do trecho. Deve-se acrescentar uma altura (h'), proporcional a declividade do trecho, à espessura anteriormente calculada. Com isso obtém-se a Equação 15.

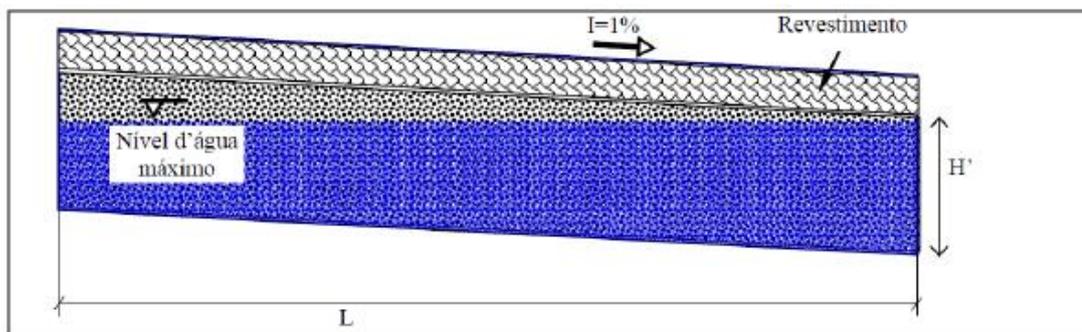
$$h' = hb + \frac{I \times L}{2} \quad (15)$$

Onde:

- hb : altura de projeto da base granular, em metros (m).
- I : declividade do terreno.
- L : comprimento do reservatório.

Isso se deve pela tendência da água de manter seu nível constante, isso pode ser observado na Figura 17.

Figura 17: Pavimento Permeável em Declive



Fonte: Vaks (2018).

Caso seja necessário o uso de drenos, estes podem ser calculados pelo método racional, apresentado anteriormente na equação 6. O método é considerado simples e deve ser usado somente em áreas menores que 3 km², como descrito Vaks (2018), vale ressaltar que o valor mais utilizado para área mínima é de 2 km², como apresentado no Item 1.5.1.2.2, entretanto alguns autores podem utilizar valores diferentes. Após a determinação da vazão deve-se distribuí-la entre os drenos instalados no subleito. Para a determinação do número de drenos necessários é usada a Equação de Chezy-Mannig, Equação 16, considerando seção plena. O coeficiente de Manning depende do material que será utilizado, tendo seu valor tabelado.

$$q = \frac{\left(0,312 \times D^{\frac{8}{3}} \times i^{\frac{1}{2}}\right)}{n} \quad (16)$$

Onde:

- q: Vazão do dreno, em m³/s.
- D: Diâmetro do dreno, em metros.
- i: Declividade, em m/m.
- n: Coeficiente de rugosidade de Manning.

3 ÁREA DE ESTUDO

A área que foi analisada consiste em um loteamento que se localizará na região norte do município de Canela, RS, próximo à Vila São Luíz. O loteamento se encontra na fase de anteprojeto, conforme planta apresentada no Apêndice 1, a qual foi utilizada nesse estudo.

Com área total de 84.319,9 m², o loteamento foi dividido conforme o plano diretor da cidade, com lotes de frente mínima de 12 metros, com exceção dos lotes de esquina que possuem 15 metros, e 30 metros de fundo, totalizando um mínimo de 360 m² por lote. Com isso foram obtidos um total de 122 lotes na área.

O Plano Diretor do município de Canela (2012) prevê que no mínimo 35% da área total do loteamento seja destinada ao uso público. Deste índice, pelo menos 15% devem ser destinados a áreas verdes e 8% para áreas institucionais. Os 12% restantes devem ser usados para ruas e vias de acesso. Desta forma é previsto um uso máximo de 65% da área do loteamento para lotes residenciais. Com isso tem-se as áreas dispostas na Tabela 5, que apresentam suas respectivas porcentagens, respeitando as normas do plano diretor.

Tabela 5: Percentuais de Ocupação de Área do Loteamento

Loteamento		
122 Lotes	Áreas (m²)	Porcentagens
Institucional	7.029,26	8%
Verde	12.717,71	15%
Lotes	54.409,61	65%
Ruas	10.175,72	12%
Total	84.319,9	100%

Fonte: Autor (2020).

O loteamento possui uma área verde ao norte com 12.717,71 m² (Apêndice 1), por ser um trecho muito estreito, lotes ali posicionados não cumpririam as especificações da norma do plano diretor. Por esse motivo toda aquela porção de terra foi destinada para uso de área verde, dessa forma cumprindo as exigências de porcentagem mínima do plano diretor.

Áreas institucionais são aquelas que devem ser reservadas pelos loteadores para a implementação, pelo poder público, de áreas de lazer e equipamentos públicos de uso comum. No loteamento analisado, elas foram dispostas a cada 150 metros em trechos lineares, com pelo menos uma área institucional por quadra, e em locais estratégicos para abertura de novas vias

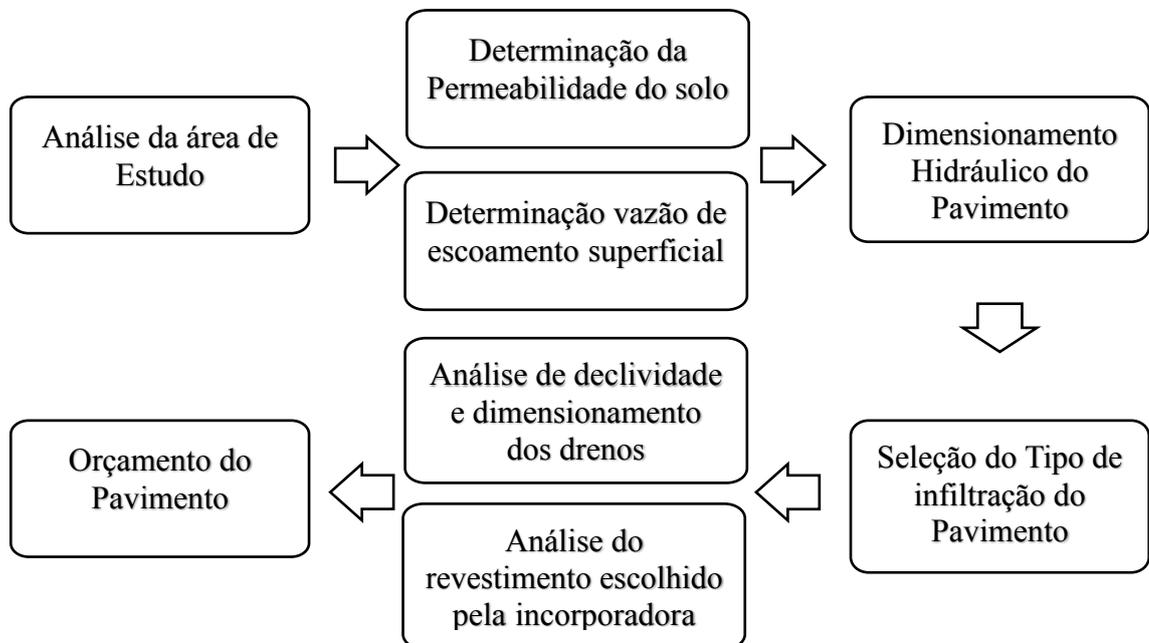
caso haja expansão do loteamento. Foram também dispostas em algumas esquinas e no centro do loteamento, afim de criar-se espaços de lazer de fácil acesso aos moradores. Estuda-se a possibilidade da implementação de uma quadra de esportes em uma dessas áreas. Com um total de 7.029,26 m² de áreas institucionais distribuídas pelo loteamento, foram cumpridos os 8% mínimos exigidos pela prefeitura.

O loteamento possuirá uma rua principal de 16,5 metros de largura consistindo de duas calçadas de 1,5 metros cada, com duas vias de 6,75 metros de largura. Esta se localiza ao sul do loteamento e se encontrará com vias de 15 metros de largura, consistindo de duas calçadas de 3 metros e uma via de mão dupla de 9 metros, essas vias completam o perímetro externo do loteamento. Na região central do loteamento encontram-se vias de 12 metros de largura, com calçadas de 2 metros e uma via de mão dupla de 8 metros. Dessa forma os 12% mínimos de área total do loteamento foram respeitados, totalizando uma área de 10.175,73 m².

4 METODOLOGIA

A metodologia do trabalho seguiu o fluxograma apresentado na Figura 18, sendo realizada, primeiramente, a análise da área de estudo, em seguida a determinação da permeabilidade do solo e escoamento superficial da área, para então ser realizado o dimensionamento hidráulico do pavimento. Após o dimensionamento do pavimento, foi selecionado o tipo de infiltração mais adequado para a região e com isso foi feita a análise de declividades e dimensionamento dos drenos e análise do revestimento definido pela incorporadora. Por fim foi feito o orçamento dessas etapas do pavimento.

Figura 18: Fluxograma da Metodologia



Fonte: Autor (2020).

4.1 PROJETO DE PAVIMENTO PERMEÁVEL

Para o dimensionamento do pavimento permeável faz-se necessária a análise de precipitação da região, determinação da intensidade da chuva de projeto, assim como avaliação da capacidade de infiltração do solo por meio da determinação de sua taxa de infiltração e coeficiente de escoamento. A partir desses dados se torna possível o dimensionamento da camada de armazenamento de água do pavimento e escolha do sistema de infiltração ideal para o local.

4.1.1 Permeabilidade do Solo

Para a determinação da taxa de infiltração e do coeficiente de permeabilidade do solo do loteamento, foi utilizado o método dos anéis, como descrito por Carvalho et al. (2007). Foram utilizados dois anéis com 50 e 23 cm de diâmetro, ambos com 30 cm de altura, um cronômetro, água limpa e um balde de 5 litros para despejo controlado da água (Figura 19).

Os anéis foram enterrados no solo de modo que ficassem concêntricos, a água foi despejada no anel interno até uma altura de 15 cm, cronometrado o tempo que a água levou para percolar totalmente no solo. Os resultados encontrados foram substituídos na Equação 18, para determinação do coeficiente de permeabilidade (K), e na Equação 17 para determinação da taxa de infiltração (TI) do solo.

Figura 19: Amostra de Infiltrômetro do Anel



Fonte: Autor (2020).

$$TI = \frac{dI}{dT} \quad (17)$$

Onde:

- I: infiltração acumulada, em milímetros.
- T: tempo em horas.

$$K = \frac{C \times m}{(d^2 \times t)} \quad (18)$$

Onde:

- m: massa de água infiltrada em quilogramas (Kg).
- d: diâmetro interno do anel de infiltração em milímetros (mm).
- t: tempo necessário para percolação total da água no solo em segundos (s).
- C: fator de conversão de unidades do sistema SI, valor igual a 4583666000.

A ABNT NBR 16416 (2015) apresenta o método para determinação do número de pontos de ensaio de permeabilidade, sendo três pontos de coleta para lotes de até 2.500 m² e mais um ponto para cada 1.000 m² adicionais. Como o loteamento possui 84.319,9 m², o ideal seria a realização de 84 pontos de amostragem escolhidos de forma aleatória com o objetivo de representar bem o lote. Entretanto, de acordo com GRAPROHAB (Grupo de Análise e Aprovação de Projetos Habitacionais do Estado de São Paulo) (2020), ensaios de infiltração devem possuir, no mínimo, três pontos amostrais em áreas ocupáveis de até 20.000 m² e seis pontos para áreas entre 20.000 e 100.000 m².

4.1.2 Chuva de Projeto

Pelo fato de não existirem dados pluviométricos suficientes no município de Canela para a construção de uma curva IDF, foram analisados dados de precipitação disponíveis no site do Instituto Nacional de Meteorologia da estação pluviográfica do município de Canela, A879, os dados de precipitação são atualizados de hora em hora desde Agosto de 2018, e estes foram aplicados na distribuição de Gumbel (Collischonn, 2016), Equação 19, juntamente com os valores de tempo de retorno para determinar a intensidade da chuva de projeto. A ABNT NBR 16416 (2015) apresenta que, para pavimentos permeáveis, deve-se utilizar um período de retorno mínimo de 10 anos e uma duração de no mínimo uma hora para dimensionamento da camada de armazenamento.

$$x = \bar{x} - s * \left(0,45 + 0,7797 * \ln \left(\ln \left(\frac{TR}{TR-1} \right) \right) \right) \quad (19)$$

Onde:

- \bar{x} : Média dos dados analisados.
- s: Desvio padrão.
- TR: Tempo de retorno

4.2 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL

A partir dos dados de áreas, taxa de infiltração do solo e a chuva de projeto é possível o cálculo da altura da camada de armazenamento do pavimento permeável. Para isso utilizam-se as Equações 20 e 21, apresentada pela ABNT NBR 16416 (2015). Para determinação da ΔQc foi utilizado uma forma alternativa do método racional, uma vez que a Equação 29 utiliza uma relação (R) entre as áreas de contribuição e permeável.

$$H = \frac{\Delta QcR + P - fTe}{Vr} \quad (20)$$

Onde:

- H: Espessura total da camada de reservatório, em metros;
- ΔQc : precipitação excedente da área de contribuição para uma dada chuva de projeto, em metros.
- R: Relação entre a área de contribuição (A_c) e a área do pavimento (A_p) permeável, ambas em metros quadrados.
- P: precipitação de projeto, em metros.
- f: Taxa de infiltração no solo, em m/h.
- Te: tempo efetivo de enchimento da camada reservatório, em horas, a NBR 16416 apresenta um valor recomendado de 2 horas.
- Vr: Índice de vazios da camada, calculado a partir da Equação 30.

$$Vr = 1 - \frac{\gamma d}{Gs \times \gamma w} \quad (21)$$

Onde:

- γd : Densidade seca do material, em g/cm^3 .
- Gs: Densidade real dos grãos, em g/cm^3 .
- γw : Densidade da água, em g/cm^3

Conforme ABNT NBR 16416 (2015), a camada de base e/ou sub-base deve seguir a distribuição granulométrica disposta na Tabela 6.

Tabela 6 :Distribuição Granulométrica Recomendada para Material de Sub-base e/ou Base

Peneira com abertura de malha	Porcentagem retida, em massa (%)	
	Sub-base	Base
75 mm	0	-
63 mm	0 a 10	-
50 mm	30 a 65	-
37,5 mm	85 a 100	0
25 mm	90 a 100	0 a 5
19 mm	95 a 100	0 a 35
12,5 mm	-	40 a 75
4,75 mm	-	90 100
2,36 mm	-	95 a 100

Fonte: ABNT NBR 16416 (2015).

A partir do coeficiente de permeabilidade calculado no item 2.2.1 determina-se qual o tipo de sistema de infiltração deverá ser utilizado, como apresentado na Tabela 3. Como se mostrou necessário o uso de drenos para escoamento da água, estes foram dimensionados a partir da equação de Chezy-Manning, Equação 22, considerando seção plena do tubo.

$$q = \frac{\left(0,312 \times D^{\frac{8}{3}} \times i^{\frac{1}{2}}\right)}{n} \quad (22)$$

Onde:

- q: Vazão do dreno, em m³/s.
- D: Diâmetro do dreno, em metros.
- i: Declividade, em m/m.
- n: Coeficiente de rugosidade de Manning.

Em seguida foi feita a análise das declividades dos trechos do pavimento, baseado nos dados topográficos da região, e com isso, caso a altura máxima não seja ultrapassada, cada trecho será redimensionado, utilizando-se da Equação 23. Dessa forma garante-se que a água permanecerá na camada de armazenamento até total percolação no solo ou extravasamento por drenos e não formará poças em trechos de níveis menos elevados.

$$h' = hb + \frac{l \times L}{2} \quad (23)$$

Onde:

- hb: altura de projeto da base granular, em metros (m).
- I: declividade do terreno.
- L: comprimento do reservatório.

O revestimento do pavimento será escolhido pela construtora, independente do revestimento escolhido, este será considerado como possuindo a espessura mínima disposta na Tabela 8 da ABNT NBR 16416 (2015).

4.3 REVESTIMENTO

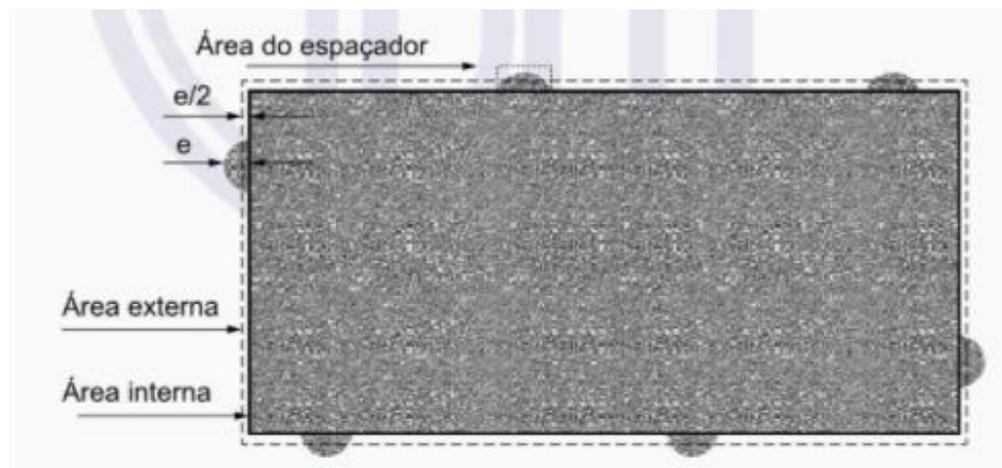
O revestimento escolhido pela incorporadora foi o de blocos intertravados, estes que, de acordo com a ABNT NBR 16416 (2015), devem possuir altura mínima de 8 cm para tráfego leve e resistência mínima de 35 MPa. O item 6.6 da ABNT NBR 16416 (2015) regula que a área de percolação das juntas alargadas, entre as peças de concreto, deve corresponder a um intervalo de 7% a 15% em relação à área total do bloco (Equação 24 ilustrada pela Figura 20).

$$A_{perc} = \frac{A_{ext} - (A_{int} + A_{esp})}{A_{ext}} \quad (24)$$

Onde:

- A_{perc} : Área de percolação, em porcentagem.
- A_{ext} : Área externa, em centímetros quadrados (cm²).
- A_{int} : Área interna, em centímetros quadrados (cm²).
- A_{esp} : Área do espaçador, em centímetros quadrados (cm²).

Figura 20: Exemplo para Verificação da Área de Percolação da Junta Alargada



Fonte: ABNT NBR 16416 (2015).

Os blocos devem ser dispostos sobre uma camada de assentamento de espessura uniforme de 20 mm em condição não compactada, com variação máxima de 5 mm, respeitando a distribuição granulométrica disposta na Tabela 7.

Tabela 7: Distribuição Granulométrica Recomendada para Camada de Assentamento

Peneira com abertura de malha	Porcentagem retida, em massa (%)
12,5 mm	0
9,5 mm	0 a 15
4,75 mm	70 a 90
2,36 mm	90 a 100
1,16 mm	95 a 100

Fonte: ABNT NBR 16416 (2015).

O material de rejuntamento, como disposto na ABNT NBR 16416 (2015), deve preencher as juntas até 5mm abaixo do topo das peças, após compactação, recomenda-se a distribuição granulométrica disposta na Tabela 8.

Tabela 8: Distribuição Granulométrica Recomendada para Material de Rejuntamento

Peneira com abertura de malha	Porcentagem retida, em massa (%)
12,5 mm	0
9,5 mm	0 a 15
4,75 mm	70 a 90
2,36 mm	90 a 100
1,16 mm	95 a 100

Fonte: ABNT NBR 16416 (2015).

4.4 ORÇAMENTO

A partir do dimensionamento do pavimento e cálculo dos volumes foi realizado o orçamento da pavimentação e estruturas de drenagem a partir da TCPO (Tabela de Composição de Preços e Orçamentos) e do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), esses resultados foram comparados com orçamentos realizados pela incorporadora para pavimentos comuns com revestimento similar.

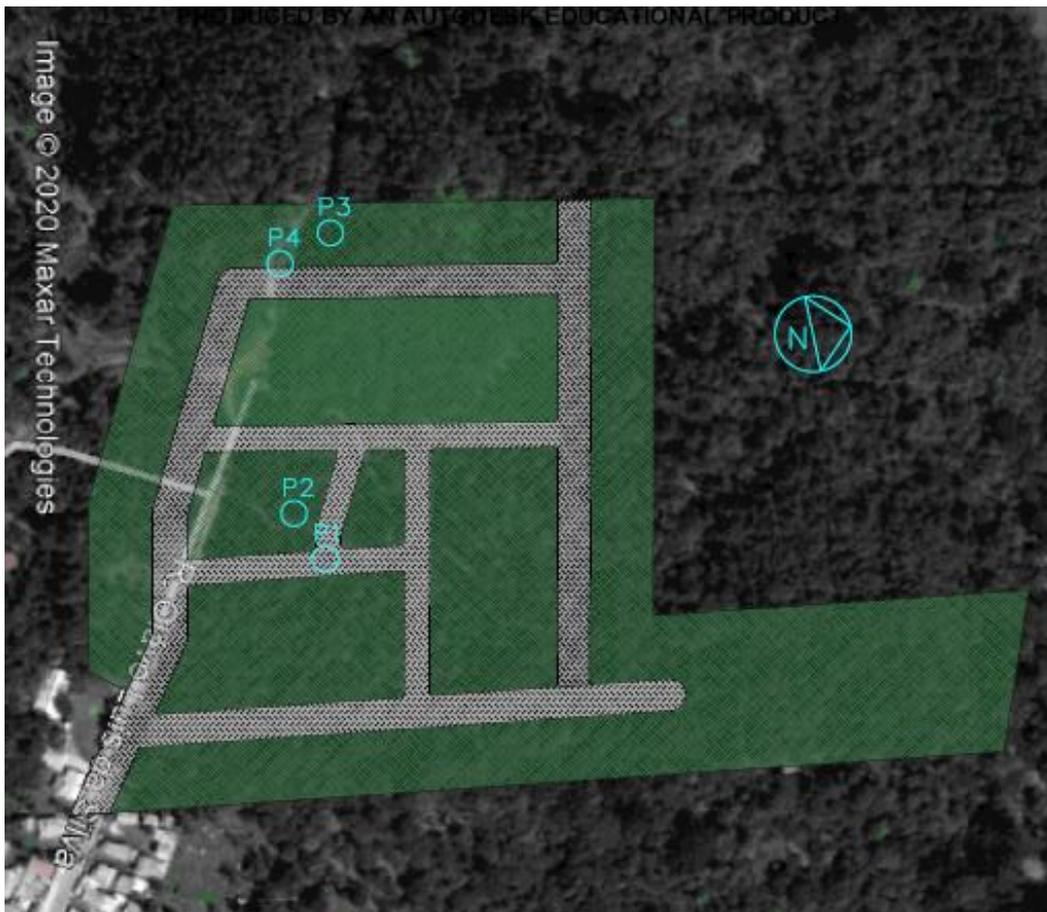
5 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados que foram alcançados a partir da aplicação dos métodos descritos no item 4.

5.1 PERMEABILIDADE DO SOLO

Foram coletados um total de 4 amostras distribuídas na área do loteamento (Figura 21) e seus dados foram substituídos nas Equações 17 e 18 para determinação da taxa de infiltração (TI) e coeficiente de permeabilidade do solo (K), respectivamente. Os resultados das amostras são apresentados na Tabela 6.

Figura 21: Pontos de Coleta de Amostras de Permeabilidade de Solo



Fonte: Autor (2020).

Tabela 9: Taxa de Infiltração e Coeficiente de Permeabilidade

Ponto de coleta	H (mm)	T (h)	TI (mm/h)	K (mm/h)	K (m/s)
1	150	2,35	63,83	55,31	$1,54 \times 10^{-5}$
2	150	2,9	51,72	44,82	$1,24 \times 10^{-5}$
3	150	2,4	62,50	54,15	$1,50 \times 10^{-5}$
4	150	2,6	57,69	49,99	$1,39 \times 10^{-5}$

Fonte: Autor (2020).

Como apresentado por Maragon (2006), pode-se determinar o tipo de material que compõe o solo de acordo com seu coeficiente de permeabilidade (Tabela 10).

Tabela 10: Coeficientes de Permeabilidade de Solos Típicos

	K		Material	Características de escoamento
	cm/seg	m/dia		
10^{-2}	1 a 100	864 a 86400	Pedregulho limpo	Aquíferos bons
10^{-3}	0,001 a 1	0,86 a 864	Areias limpas, misturas de areias limpas e pedregulhos	
10^{-7}	10^{-7} a 10^{-3}	$8,64 \times 10^{-5}$ a 0,86	Areias muito finas; siltes; misturas de areia, silte e argila; argilas estratificadas	Aquíferos pobres
10^{-9}	10^{-9} a 10^{-7}	$8,64 \times 10^{-7}$ a $8,64 \times 10^{-5}$	Argilas não alteradas	Impermeáveis

Fonte: Adaptado de Maragon (2006)

Convertendo os resultados de K da Tabela 6, chega-se a uma grandeza de 10^{-7} cm/s, com isso o solo amostrado pode ser caracterizado como um solo argiloso alterado com areia e silte, de baixa permeabilidade.

5.2 CHUVA DE PROJETO

A partir dos dados de chuva disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia da Estação Pluviográfica A879, localizada em Canela-RS, foram encontrados 96.397 dados horários de chuva de 01/01/2009 à 01/01/2020. Destes, foram encontradas as maiores intensidades de chuva horárias anuais entre 2009 e 2019, apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11: Máximas Precipitações Anuais

ANO	PRECIPITAÇÃO (mm/h)
2009	38
2010	31,4
2011	36,6
2012	38,2
2013	59,4
2014	23,4
2015	79,8
2016	40,6
2017	29
2018	38,8
2019	22,8

Fonte: Autor (2020).

Com esses dados foram calculadas a média e o desvio padrão das intensidades de chuva no município. Esses resultados juntamente com o tempo de retorno de 10 anos foram substituídos na equação de Gumbel (Equação 19) tendo como resultado a chuva de projeto apresentada na Tabela 12.

Tabela 12: Variáveis e Resultado da Intensidade da Chuva de Projeto

Média (mm)	39,82
Desvio Padrão (mm)	16,57
Tempo de retorno (Anos)	10
Intensidade de Precipitação por Gumbel (mm/h)	61,44

Fonte: Autor (2020).

Com isso, foi obtida uma chuva de projeto com intensidade de 61,44 mm/h para uma hora de duração e período de retorno de 10 anos.

5.3 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL

O dimensionamento hidráulico de pavimentos permeáveis consiste no dimensionamento da camada de armazenamento localizada entre o revestimento e o subleito. Em seguida é feito o dimensionamento dos drenos e análise das declividades dos trechos das ruas.

5.3.1 Dimensionamento da Camada de Armazenamento

Para o dimensionamento da camada de armazenamento, foi determinado primeiramente, a precipitação excedente da área de contribuição para a chuva de projeto, em metros (ΔQc). Assim a chuva de projeto, 61,44 mm/h, foi multiplicada por um fator equivalente a 1 menos a taxa de permeabilidade mínima para áreas predominantemente residenciais, ZPR2, disponível no anexo 4 do Plano Diretor do Município de Canela (2012). Dessa forma o fator adotado foi de 0,5, resultando em ΔQc igual a 30,7 mm, considerando uma hora de precipitação.

Em seguida foi realizada a análise do índice de vazios da camada (Vr) conforme Equação 21. Para determinar a densidade seca do material (γ_d) e a densidade real dos grãos (G_s) foi utilizada a Tabela 13, adaptada de Balbo (2020).

Tabela 13: Densidades de Agregados Graúdos

Agregado	G_s (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)
Granito	25,5	19
Basalto	27	19
Gnaisse	25	19
Arenito	25,8	19
Calcário	23,5	19

Fonte: Adaptado de Balbo, 2020

O material escolhido para esta etapa foi o basalto, por ser mais comum na região e possuir um preço mais acessível, utilizado na camada de armazenamento de água abaixo do revestimento, possuindo um índice de vazios de 0,3 calculado a partir da Equação 21. Esses resultados juntamente com dados apresentados anteriormente foram substituídos na Equação 20, com resultado disponível na Tabela 14.

Tabela 14: Variáveis e Resultado do Cálculo de Altura Ideal para Camada de Armazenamento

ΔQ_c (m)	0,0307
A_c (m ²)	77.141,78
A_p (m ²)	10.175,72
R	7,58
P (m)	0,0614
f (m/h)	0,0589
Te (h)	2
V _r	0,3
H (m)	0,59

Fonte: Autor (2020).

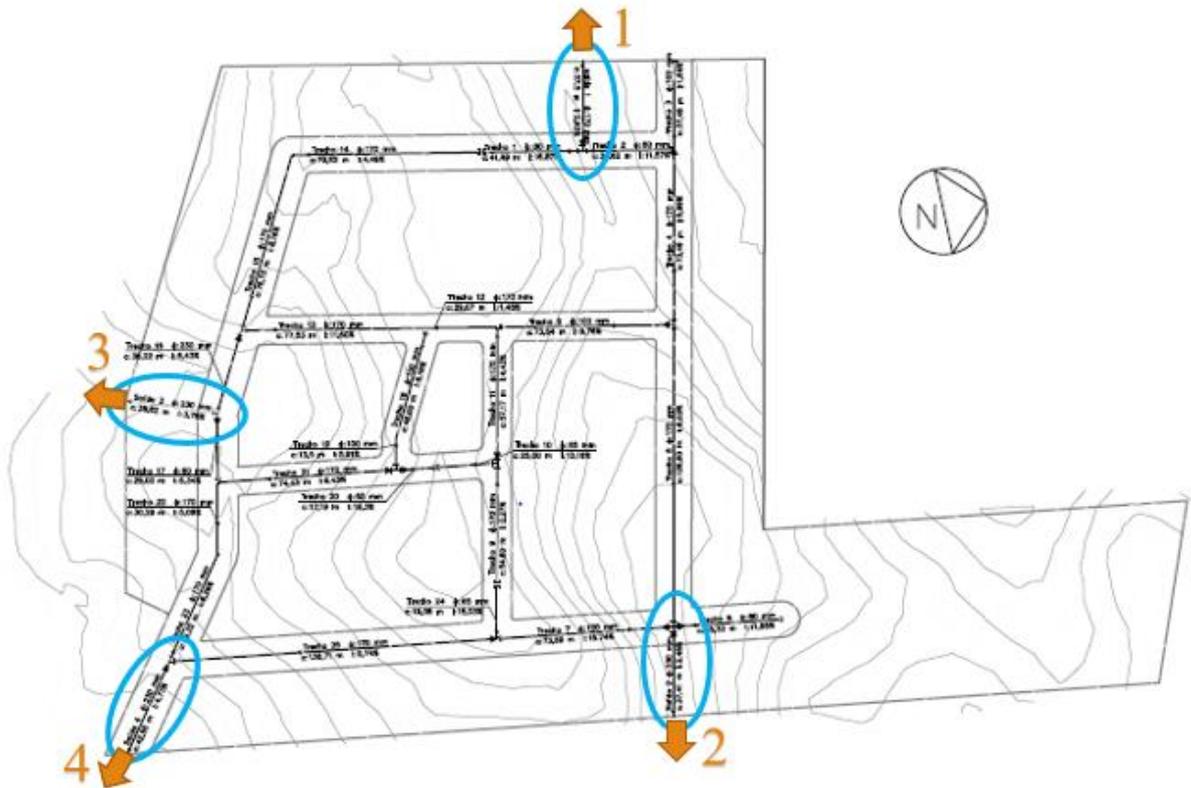
Dessa forma conclui-se que a espessura ótima da camada de armazenamento para uma chuva de 61,44 mm/h na região analisada é de 59 cm. Entretanto utilizando a Equação 13 para calcular a altura máxima da base granular permitida para evitar perda de suporte do pavimento, chega-se a um resultado de 34 cm. Com isso, e comparando os resultados de coeficiente de permeabilidade, Item 5.1, com a Tabela 3, chega-se à conclusão que o uso de drenos se faz necessário para remover a água em excesso do sistema, utilizando um sistema de infiltração parcial.

5.3.2 Análise de Declividades

O levantamento topográfico da área foi realizado por empresa especializada e em seguida modelado no software Autodesk Civil3D 2019. Para análise das declividades, foram realizados cortes longitudinais das vias aliado ao melhor aproveitamento de lotes para a área e logo após feito o corte topográfico pelo próprio software, conforme Apêndice 2.

Após análise das curvas de nível, as vias foram divididas em 25 trechos e quatro saídas de água (Apêndice 3), como pode ser observado na Figura 22. Desse modo foi montada a Tabela 15 apresentando o comprimento, altura inicial (H_i) e final (H_f) e declividade (I) de cada trecho, já contendo os trechos de saída do escoamento dos drenos.

Figura 22: Planta de Drenagem do Loteamento



Fonte: Autor (2020).

Tabela 15: Declividades dos Trechos

Trecho	Comprimento (m)	Hi (m)	Hf (m)	I
1	41,49	841,00	834,00	16,87%
2	34,62	838,00	834,00	11,57%
Saída 1	37,50	834,98	834,00	2,62%
3	37,49	839,03	838,41	1,64%
4	73,49	838,04	833,64	5,99%
5	73,54	839,18	832,00	9,76%
6	126,80	833,64	826,00	6,03%
7	73,69	838,34	826,00	16,74%
8	45,33	831,29	826,00	11,66%
Saída 2	37,41	826,43	825,50	2,48%
9	54,60	839,58	838,34	2,27%
10	25,00	840,00	836,71	13,16%
11	57,17	839,18	836,65	4,43%
12	29,07	839,60	839,18	1,45%
13	77,53	839,39	830,39	11,60%
14	79,62	841,00	837,42	4,49%
15	76,73	837,42	831,16	8,16%
16	36,22	831,16	828,83	6,43%

Trecho	Comprimento (m)	Hi (m)	Hf (m)	I
17	29,00	830,74	828,90	6,34%
Saída 3	38,62	828,90	827,44	3,78%
18	48,00	839,39	836,43	6,16%
19	13,50	837,02	836,22	5,91%
20	17,19	840,00	837,00	19,13%
21	74,43	837,02	830,00	9,43%
22	30,29	830,65	829,12	5,06%
23	49,32	829,12	825,03	8,29%
24	19,08	839,58	836,71	15,03%
25	136,71	838,35	825,03	9,74%
Saída 4	42,55	825,03	823,00	4,77%

Fonte: Autor (2020).

Desse modo a água pluvial destinada à saída 4 será conectada na rede pluvial já existente no bairro, enquanto as demais saídas desembocaram as águas em cursos de água próximos.

Como está sendo utilizada a altura máxima possível na camada de armazenamento, seu redimensionamento e aumento de sua espessura se tornam inviáveis pela Equação 23.

5.3.3 Dimensionamento dos Drenos

Após análise topográfica foi verificada a necessidade de quatro pontos de saída de água, sendo um na entrada do loteamento, o segundo pelo lote institucional 6, o terceiro entre os lotes 38 e 39 e um último ponto entre os lotes 16 e 17. Desse modo o escoamento é feito por quatro grupos de drenos, em que a vazão e o diâmetro da tubulação aumenta na direção das saídas (Apêndice 3).

Para o dimensionamento dos drenos foram utilizados os mesmos trechos apresentados no Item 5.3.2, determinando além de comprimento e declividade, a sua largura. Para calcular o volume de água a ser escoado em cada trecho foi utilizada a diferença entre a altura máxima e a ideal da camada de armazenamento (0,25 m), multiplicada pelo índice de vazios do material e pela área de pavimento, como apresentado na Tabela 16.

A vazão foi calculada a partir da divisão do volume de água encontrado e um tempo de duas horas para escoamento, conforme tempo máximo de enchimento do sistema utilizado anteriormente. Em seguida, foi utilizada a Equação 24 para encontrar a capacidade de vazão máxima de drenos PEAD corrugados flexíveis micro perfurados tipo Kanaflex, tendo sido

adotado um coeficiente de rugosidade de 0,016, conforme fabricante. O diâmetro dos drenos foi escolhido de modo que fosse necessário somente um tubo por trecho, sendo preciso o uso de DN 65, DN 80, DN 100, DN 170 e DN 230, como apresentado no Apêndice 3. De acordo com o fabricante, os drenos devem possuir um reaterro mínimo de 20 cm para regiões de baixo tráfego (Apêndice 4), além de possuírem raios de curvatura que variam de 0,35 m até 1,00 m, dispensando a necessidade do uso de curvas e joelhos. Por fim foi calculada a velocidade máxima da água dentro dos drenos, estas que ficaram todas abaixo do limite de 5 m/s.

Tabela 16: Dimensionamento dos Drenos

Trecho	I	Vazão Drenada (L/s)	DN (mm)	D Interno (mm)	Q Drenos (L/s)	Rh (m)	Velocidade (m/s)	Nº de Drenos
1	16,87%	3,85	80	0,067	5,93	0,01675	2,24	1
2	11,57%	3,22	80	0,067	4,91	0,01675	1,86	1
Saída 1	2,62%	7,07	170	0,149	19,70	0,03725	1,50	1
3	1,64%	3,48	100	0,085	3,49	0,02125	0,82	1
4	5,99%	10,31	170	0,149	29,77	0,03725	2,27	1
5	9,76%	6,07	100	0,085	8,51	0,02125	2,00	1
6	6,03%	28,16	170	0,149	29,87	0,03725	2,28	1
7	16,74%	6,85	100	0,085	11,14	0,02125	2,62	1
8	11,66%	4,21	80	0,067	4,93	0,01675	1,86	1
Saída 2	2,48%	39,22	230	0,2	42,01	0,05	1,78	1
9	2,27%	4,51	170	0,147	17,69	0,03675	1,39	1
10	13,16%	2,06	65	0,0595	3,82	0,01488	1,83	1
11	4,43%	11,29	170	0,149	25,61	0,03725	1,96	1
12	1,45%	13,70	170	0,149	14,64	0,03725	1,12	1
13	11,60%	20,10	170	0,149	41,43	0,03725	3,17	1
14	4,49%	9,86	170	0,149	25,79	0,03725	1,97	1
15	8,16%	19,37	170	0,149	34,77	0,03725	2,66	1
16	6,43%	43,95	230	0,2	67,66	0,05	2,87	1
17	6,34%	3,59	80	0,067	3,64	0,01675	1,37	1
Saída 3	3,78%	47,54	230	0,2	51,85	0,05	2,20	1
18	6,16%	3,96	100	0,085	6,76	0,02125	1,59	1
19	5,91%	5,08	100	0,085	6,62	0,02125	1,55	1
20	19,13%	1,42	65	0,0595	4,60	0,01488	2,20	1
21	9,43%	12,64	170	0,149	37,36	0,03725	2,85	1
22	5,06%	16,40	170	0,149	27,36	0,03725	2,09	1
23	8,29%	22,51	170	0,149	35,03	0,03725	2,68	1
24	15,03%	1,58	65	0,0595	4,08	0,01488	1,95	1
25	9,74%	14,28	170	0,149	37,98	0,03725	2,90	1

Trecho	I	Vazão Drenada (L/s)	DN (mm)	D Interno (mm)	Q Drenos (L/s)	Rh (m)	Velocidade (m/s)	Nº de Drenos
Saída 4	4,77%	42,05	230	0,2	58,27	0,05	2,47	1

Fonte: Autor (2020).

5.3.4 Revestimento

Foi definido pela incorporadora o uso de piso intertravado de concreto Holland de cor normal com dimensões de largura, espessura e comprimento de, respectivamente, 10, 8 e 20 cm (Figura 22). Os blocos possuem resistência de 35 MPa e características físicas conforme ABNT NBR 9781 (2013). Esses valores encontram-se dentro do determinado pela ABNT NBR 16416 (2015) na Tabela 8 do item 6.7.2.

Figura 23: Bloco Intertravado



Fonte: Groove (2020).

Utilizando os valores de área interna de 200 cm², área externa de 231 cm² e área do espaçador de 1 cm², a partir da Equação 24, chega-se à uma área de percolação de 13%, dentro do estabelecido pela NBR 16416 (2015).

5.4 ORÇAMENTO

Para a realização do orçamento foi utilizada a tabela TCPO (Tabela de Composição de Preços e Orçamentos) 13^a edição (2010) e o SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) emitido em 14/11/2020, para composição dos custos unitários de projeto. Os resultados das composições e custos por serviço estão apresentados na Tabela

17. Como não compete a esse trabalho, aqui não foram orçados serviços de coleta de esgoto, abastecimento de água, remoção de árvores de tocos, construção de calçadas e meio-fio.

Tabela 17: Composições Unitárias e Custos por Serviço

92399	Execução de via em piso intertravado, com bloco retangular de 20 x 10 cm, espessura 8 cm. AF_12/2015 (m ²)				
Código	Descrição	Unidade	Coeficiente	Preço Unit.	Custo
370	Areia média - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida sem transporte)	m ³	0,0568	R\$ 60,00	R\$ 3,41
4741	Pó de pedra (posto pedreira/fornecedor, sem frete)	m ³	0,0087	R\$ 47,53	R\$ 0,41
36170	Bloquete/piso intertravado de concreto - modelo onda/16 faces/retangular/tijolinho/paver/holandês/paralelepípedo, *22 cm x 11* cm, E = 8 cm, resistência de 35 MPa (NBR 9781), cor natural	m ²	1,0131	R\$ 36,00	R\$ 36,47
8826	Calceteiro com encargos complementares	h	0,2703	R\$ 19,06	R\$ 10,88
88316	Servente com encargos complementares	h	0,2703	R\$ 16,85	R\$ 9,62
91277	Placa vibratória reversível com motor 4 tempos a gasolina, força centrífuga de 25 kN (2500 kgf), potência 5,5 CV - CHP diurno. AF_08/2015	CHP	0,0055	R\$ 7,74	R\$ 0,04
91278	Placa vibratória reversível com motor 4 tempos a gasolina, força centrífuga de 25 kN (2500 kgf), potência 5,5 CV - CHI diurno. AF_08/2015	CHI	0,1297	R\$ 0,70	R\$ 0,09
91283	Cortadora de piso com motor 4 tempos a gasolina, potência de 13 Hp, com disco de corte diâmetro segmentado para concreto, diâmetro de 350 mm, furo de 1" (14 x 1") - CHP diurno. AF_08/2015	CHP	0,0135	R\$ 16,57	R\$ 0,22
91285	Cortadora de piso com motor 4 tempos a gasolina, potência de 13 Hp, com disco de corte diâmetro segmentado para concreto, diâmetro de 350 mm, furo de 1" (14 x 1") - CHI diurno. AF_08/2015	CHI	0,1217	R\$ 0,74	R\$ 0,09

Custo Total:	R\$/m² 61,23
Área Total:	10.175,72
Custo Final:	R\$ 623.075,20

96396	Execução e compactação de base e ou sub base para pavimentação de brita graduada simples - Exclusive carga e transporte. AF_11/2019 (m³)				
Código	Descrição	Unidade	Coefficiente	Preço Unit.	Custo
5684	Rolo compactador vibratório de um cilindro aço liso, potência 80 Hp, peso operacional máximo 8,1 T. Impacto dinâmico 16,15/9,5 T, largura de trabalho 1,68 m - CHP diurno. AF_06/2014	CHP	0,009	R\$ 95,71	R\$ 0,86
5685	Rolo compactador vibratório de um cilindro aço liso, potência 80 Hp, peso operacional máximo 8,1 T. Impacto dinâmico 16,15/9,5 T, largura de trabalho 1,68 m - CHI diurno. AF_06/2014	CHI	0,021	R\$ 40,87	R\$ 0,86
5901	Caminhão pipa 10.00 L trucado, peso bruto total 23.000 kg, carga útil máxima 15.935 kg, distância entre eixos 4,8 m, potência 230 CV, inclusive tanque de aço para transporte de água - CHP diurno. AF_06/2004	CHP	0,002	R\$ 171,04	R\$ 0,34
5903	Caminhão pipa 10.00 L trucado, peso bruto total 23.000 kg, carga útil máxima 15.935 kg, distância entre eixos 4,8 m, potência 230 CV, inclusive tanque de aço para transporte de água - CHI diurno. AF_06/2004	CHI	0,028	R\$ 39,33	R\$ 1,10
5932	Moto niveladora potência básica líquida (primeira marcha) 125 Hp, peso bruto 13032 kg, largura da lâmina de 3,7 m - CHP diurno. AF_06/2004	CHP	0,008	R\$ 143,40	R\$ 1,15
5934	Moto niveladora potência básica líquida (primeira marcha) 125 Hp, peso bruto 13032 kg, largura da lâmina de 3,7 m - CHI diurno. AF_06/2004	CHI	0,022	R\$ 58,15	R\$ 1,28
88316	Servente com encargos complementares	h	0,03	R\$ 16,85	R\$ 1,07
96393	Usinagem de brita graduada simples. AF_03/2020	m³	1	R\$ 83,64	R\$ 83,64

Código	Descrição	Unidade	Coefficiente	Preço Unit.	Custo
96463	Rolo compactador de pneus, estático, pressão variante, potência 110 Hp, peso sem/com lastro 10,8/27 T, largura de rolagem 2,30 m - CHP diurno. AF_03/2017	CHP	0,004	R\$ 128,46	R\$ 0,51
96464	Rolo compactador de pneus, estático, pressão variante, potência 110 Hp, peso sem/com lastro 10,8/27 T, largura de rolagem 2,30 m - CHI diurno. AF_03/2017	CHI	0,026	R\$ 54,70	R\$ 1,42
				Custo Total:	R\$/m ³ 92,23
				Volume Total:	3.459,74
				Custo Final:	R\$ 319.101,54

73816/1	Execução de dreno com tubos de PVC corrugado flexível perfurado - DN 100 (m)				
Código	Descrição	Unidade	Coefficiente	Preço Unit.	Custo
4718	Pedra brita N. 2 (19 a 38 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	m ³	0,0821	R\$ 49,79	R\$ 4,09
5811	Caminhão basculante 6 m ³ , peso bruto total 16.000 kg, carga útil máxima 13.071 kg, distância entre eixos 4,80 m, potência 230 Cv inclusive caçamba metálica - CHP diurno. AF_06/2014	CHP	0,003244 2	R\$ 119,16	R\$ 0,39
9833	Tubo PVC, flexível, corrugado, perfurado, DN 110 mm, para drenagem, sistema irrigação	m	1	R\$ 9,70	R\$ 9,70
88267	Encanador ou bombeiro hidráulico com encargos complementares	h	0,0175	R\$ 20,12	R\$ 0,74
88316	Servente com encargos complementares	h	0,7993	R\$ 16,85	R\$ 28,43
91277	Placa vibratória reversível com motor 4 tempos a gasolina, força centrífuga de 25 kN (2500 kgf), potência 5,5 CV - CHP diurno. AF_08/2015	CHP	0,0076	R\$ 7,74	R\$ 0,06
				Custo Total:	R\$/m 43,41
				Comprimento Total:	1.515,97
				Custo Final:	R\$ 65.807,19

Geotêxtil usado como filtro em substituição à transição granulométrica e como proteção à erosão (m²)					
Código	Descrição	Unidade	Coefficiente	Preço Unit.	Custo
02625.8.1.2					
01270.0.45.1	Servente	h	0,03	R\$ 16,85	R\$ 0,51
02342.3.2.1	Geotêxtil não tecido (resistência bidirecional: 20 kN/m / densidade: 300 g/m ² / espessura: 2,30 mm / largura 2,15m)	m ²	1,05	R\$ 10,32	R\$ 22,88
				Custo Total:	R\$/m ² 23,38
				Área Total:	10.175,72
				Custo Final:	R\$ 237.922,37

Abertura e preparo de caixa de até 40 cm para pavimentação (m²)					
Código	Descrição	Unidade	Coefficiente	Preço Unit.	Custo
02335.8.7.1					
22500.9.2.1	Caminhão irridadeira, diesel, potência 167 Hp (125 kW), capacidade 8000 L - vida útil 8000 h	CHP	0,002	R\$ 171,04	R\$ 0,34
22700.9.10.3	Rolo compactador auto propellido vibratório com pneus de tração, cilindro liso em aço, diesel, potência 150 Hp (112 kW), peso operacional 11,20 T, fator de carga médio - vida útil 8.000 h	CHP	0,003	R\$ 135,42	R\$ 0,41
22700.9.10.9	Rolo compactador auto propellido vibratório com pneus de tração, cilindro pé-de-carneiro em aço, diesel, potência 150 Hp (112 kW), peso operacional 11,60 T, fator de carga médio - vida útil 8.000 h	CHP	0,002	R\$ 137,28	R\$ 0,27
22700.9.14.3 6	Trator sobre esteiras, diesel, potência 185 Hp (138 kW), fator de carga médio, com lâmina angulável, capacidade da lâmina de 3,93 m ³ - vida útil 8.000 h	CHP	0,0077	R\$ 132,70	R\$ 1,02
22700.9.20.1 0	Carregadeira sobre rodas 211 Hp, com caçamba de aplicação geral de bordas cortantes aparafusáveis, capacidade nominal da caçamba 3,30 m ³ , aplicação leve - vida útil 8.000 h	CHP	0,009	R\$ 133,15	R\$ 1,20

Código	Descrição	Unidade	Coefficiente	Preço Unit.	Custo
22700.9.5.10	Moto niveladora sobre pneus, diesel, fator de carga médio, com lâmina reta, potência no volante do motor: 135 Hp (101 kW) - vida útil 8.000 h	CHP	0,008	R\$ 143,40	R\$ 1,15
22800.9.11	Caminhão basculante, diesel, potência 167 Hp (125 kW), capacidade de carga útil 8,6 T, caçamba 5 m ³ - vida útil 8.000 h	CHP	0,0256	R\$ 106,27	R\$ 2,72
				Custo Total:	R\$/m ² 7,11
				Área Total:	10.175,72
				Custo Final:	R\$ 72.357,02

02335.8.7.1	Raspagem mecanizada do terreno até 40 cm de profundidade, utilizando trator sobre esteiras (m²)				
Código	Descrição	Unidade	Coefficiente	Preço Unit.	Custo
22700.9.14.36	Trator sobre esteiras, diesel, potência 185 Hp (138 kW), fator de carga médio, com lâmina angulável, capacidade da lâmina de 3,93 m ³ - vida útil 8.000 h	CHP	0,00338	R\$ 132,70	R\$ 0,45
				Custo Total:	R\$/m ² 0,45
				Área Total:	10.175,72
				Custo Final:	R\$ 4.564,07

Fonte: Auto (2020).

Foi estimado um custo total de R\$ 1.322.827,39 para o projeto, totalizando um valor de R\$ 130,00 por metro quadrado de pavimento permeável. Distribuindo esse valor igualmente entre os 122 lotes do empreendimento chega-se a um custo de R\$ 10.842,85 por lote. Esse resultado foi comparado com orçamentos realizados pela incorporadora para pavimentos contemplando sistema de drenagem tradicional, com coleta de água pluvial por meio de bocas de lobo distribuídas ao longo da via, com uma média de R\$ 122,13 por metro quadrado, o que resultaria em um valor total de R\$ 1.242.760,69. Ressalta-se que nesse caso pode se mostrar necessário o uso de técnicas compensatórias de drenagem, como poços de infiltração.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, através de dados pluviométricos da região e da equação estatística de Gumbel, foi determinada a chuva de projeto de 61,44 mm/h, para uma duração de 24 horas e com período de retorno de 10 anos. Assim como as características de infiltração do solo que, com um coeficiente K na ordem de grandeza 10^{-7} cm/s, pôde ser caracterizado como um solo argiloso alterado com areia e silte, de baixa permeabilidade, seriam necessários mais testes de infiltração para corroborar esses resultados.

Pela baixa permeabilidade foi necessária a adoção do método de infiltração parcial, onde a água em excesso será retirada do sistema por drenos. Os drenos escolhidos para essa evacuação foram PEAD flexíveis corrugados micro perfurados, com curvaturas possíveis de 0,35 a 1,00 metros de raio, tornando o uso de peças de curvas e joelhos desnecessário, que necessitam de reaterro mínimo de 20 cm para tráfego leve. Pela topografia da região fez-se necessário o uso de quatro saídas da água drenada, uma para a entrada do loteamento ligada à rede pluvial do bairro e as demais dispostas para cursos da água próximos ao local.

A camada de armazenamento/base do pavimento possuirá uma espessura máxima de 34 cm, menor do que a espessura ideal calculada de 59 cm. Ela será composta de brita graduada de granulometria aberta conforme ABNT NBR 16416 (2015), permitindo o percolamento de água e será assentada sobre uma manta geotêxtil para impedir a subida de detritos do subleito que poderiam obstruir o sistema.

O tipo de revestimento escolhido pela incorporadora, consistindo no uso de bloco intertravado de concreto com dimensões 10 x 20 x 8 cm, é adequado uma vez que, com um espaçamento de 1 cm entre as peças, cumpre os requisitos mínimos de revestimento da ABNT NBR 16416 (2015). Estes serão assentados sobre uma camada de 2 cm de material com granulometria especificada pela NBR 16416 (2015), assim como o material de rejunte.

O orçamento do pavimento permeável se mostrou 6,05% mais caro do que o convencional, baseado no histórico da incorporadora. Entretanto o orçamento do pavimento convencional não leva em conta obras de drenagem especial, como poços de drenagem e bacias de retenção, nesses casos o uso de pavimentos com sistemas permeáveis poderia se mostrar economicamente mais atrativo. Além disso o apelo de um sistema verde atrairia um maior número de compradores, aumentando o fluxo de caixa, compensando a diferença no custo, chega-se a essa conclusão pelo elevado número de projetos com exigências de alternativas verdes na cidade, como reutilização de água da chuva e maior arborização de residências.

7 REFERÊNCIAS

Acioli, Laura A.; **Estudo Experimental de Pavimentos Permeáveis Para o Controle do Escoamento Superficial na Fonte**. 2005. Disponível em <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/5843>. Acesso em: 07 Maio 2020.

Água em Ambientes Urbanos. 2014. São Paulo, SP. **Pavimentos Permeáveis e Sua Influência Sobre a Drenagem**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental.

ALVARENGA, Daiane F.; Portilho, Douglas B.; Cordeiro, Juni; Therezo, Paulo E.A.; Cordeiro, José L.; Santiago, Grazielle L.A. **Caracterização Morfométrica e Hidrográfica de Bacia Hidrográfica Formada Pelos Cursos Hídricos da Região Central do Município de Itabira (MG)**. Itabira, MG. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10805**: Pisos elevados de placas de concreto – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, RJ. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142**: Concreto – Determinação à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, RJ. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416**: Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, RJ. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, RJ. 2013.

ARAÚJO, Paulo Roberto de; TUCCI, Calos E.M.; GOLDENFUM, Joel A. **Avaliação da Eficiência dos Pavimentos Permeáveis na Redução de Escoamento Superficial**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. 1996 -. ISSN – 2318-0331. Quinzenal.

BAPTISTA, Márcio; Nascimento, Nilo; Barraud, Sylvie. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. 2. ed. Porto Alegre, RS. ABRH, 2011.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de Concreto Permeáveis: Uma visão ambiental da tecnologia sustentável emergente**. 1. ed. São Paulo, SP. Oficina de Textos, 2020.

BECKER, Patrícia. **Utilização do SIG no Cadastro da Rede de Macrodrenagem e Microdrenagem**. Laguna, SC. 2013.

BRASIL. Lei complementar n. 7, de 28 de dez. de 2004. **Dispõe sobre o plano diretor municipal – PDM, que abrange todo o território do município de Canela/RS**, Canela, RS, dez 2004.

BRASIL. Lei Complementar N° 32: **Dispõem Sobre o Plano Diretor Municipal – PDM, Que Abrange Todo o território do Município de Canela, Rio Grande do Sul**, Canela, RS, jun 2012. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-canela-rs>. Acesso em: 06 jun 2020.

CIRIA = Construction Industry Research and Information Association. **The SUDS manual**. London, CIRIA C697, ISBN 978-0-86017-697-8, 606 páginas. 2007.

COLLISCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Porto Alegre: ABRH, 2016. 342 p.

COLLISCHONN, Walter; TASSI, Rutinéia. **Introduzindo Hidrologia**. 5. ed. Porto Alegre. 2008.

COSTA, Renata C.A. **Indicadores Morfométricos: Uma Ferramenta no Diagnóstico da Vulnerabilidade Ambiental**. Jaboticabal, SP. 2015.

DEUS, R.A.S.G.; COSTA, S.O.S.; LOURENÇO, E.R.C.; GOLDFARB, M.C.; DURTE, C.C.; GOMES, D.D.M. **Análise das Características Morfométricas da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca – PE**. REGNE, Vol 2, N° Especial. 2016.

FINOTTI. Caxias do Sul, RS. **Curvas IDF Para Caxias do Sul e Região**. 2009.

FURTADO, Daiana B. **PROJETO DE DOSAGEM E DIMENSIONAMENTO DE UM PAVIMENTO ASFALTICO POROSO PARA UMA ÁREA DE ESTACIONAMENTO**. Uberlândia, MG. 2017.

GARCIA, Jéssica A.A.; BERTEQUINI, Aline B.T. **Pavimentos Permeáveis**. 2018.

GRAPROHAB - Grupo de Análise e Aprovação de Projetos Habitacionais do Estado de São Paulo. Disponível em: <https://app.habitacao.sp.gov.br/ManualGraprohab/Apresentacao.html>. Acesso em 17 nov 2020.

GROOVE. Disponível em: <http://www.groove.ind.br/produto/piso-intertravado-de-concreto-holandes/>. Acesso em: 12 nov 2020.

HOPPE, Ismael L.; WOLMANN, Cássio A.; **Análise da Precipitação Pluviométrica e a Presença de Nevoeiros no Entorno Próximo do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Dona Francisca Em Agudo, RS**. Revista Brasileira de Climatologia. 2004 -. Semestral. ISSN 2237-8642.

Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/Graficos/A001>. Acesso em: 09 set 2020.

JUNIOR, Lourenço L.C; BARBASSA, Ademir P.; **Parâmetros de Projeto de Microrreservatório, de Pavimentos Permeáveis e de Previsão de enchentes Urbanas**. 2005. Disponível em https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522006000100007. Acesso em: 05 Maio 2020.

JUSTINO, Eliane A.; PAULA, Heber M.; PAIVA, Ed Carlo R. **Análise do Efeito da Impermeabilização dos Solos Urbanos na Drenagem de Água Pluvial do Município de Uberlândia (MG)**. Uberlândia, MG. 2011.

Licco, Eduardo A.; Dowell, Silvs F. **Alagamentos, Enchentes Enxurradas e Inundações: Digressões sobre seus impactos econômicos e governança**. Dezembro. 2015.

MARAGON, M. **Mecânica dos Solos II**. 2006

Pavimento Intertravado Permeável – Melhores Práticas. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). São Paulo, SP. 2010.

PORTO, Monica F.A.; PORTO, Rubem L.L. **Gestão de Bacias Hidrográficas**. 2008.

Projeto Técnico: Pavimento Permeável. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). São Paulo, SP. 2013.

Profs. Daniel F. Carvalho, Jorge L. P. Mello e Leonardo D. B. da Silva. **Apostila de Hidrologia**. Capítulo 1. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, URRJ. Rio de Janeiro, 2007.

RIBEIRO, Thyago. INFOESCOLA. Tipos de Chuva. **Infoescola**. Disponível em: <https://www.infoescola.com/meteorologia/tipos-de-chuvas/#:~:text=Formas%20de%20precipita%C3%A7%C3%A3o%3A%20chuva%2C%20neve,ser%20orogr%C3%A1ficas%2C%20cicl%C3%B4nicas%20ou%20convectivas>. Acesso em: 18 ago. 2020..

SALOMÃO, Pedro E.A.; OLIVEIRA, Louês L.S.; RHIS, Arnon R.; COELHO, Sandro S.F. **Análise e Estudo de Materiais Para Aproveitamento de Água em Pavimento Permeável Quando Comparado Com Pavimento Comum**. 2019. Disponível em: <https://rsd.unifei.edu.br/index.php/rsd/article/view/912/778>. Acesso em: 05 Maio 2020.

SUZUKI, Carlos Y.; AZEVEDO, Angela M.; JUNIOR, Felipe I.K. **Drenagem Subsuperficial de Pavimentos: Conceitos e Dimensionamento**. 1. ed. Oficina de Textos. 2013

SMITH, David R. **Permeable Interlocking Concrete Pavements**. 3. ed. Interlocking Concrete Pavement Institute. 2006.

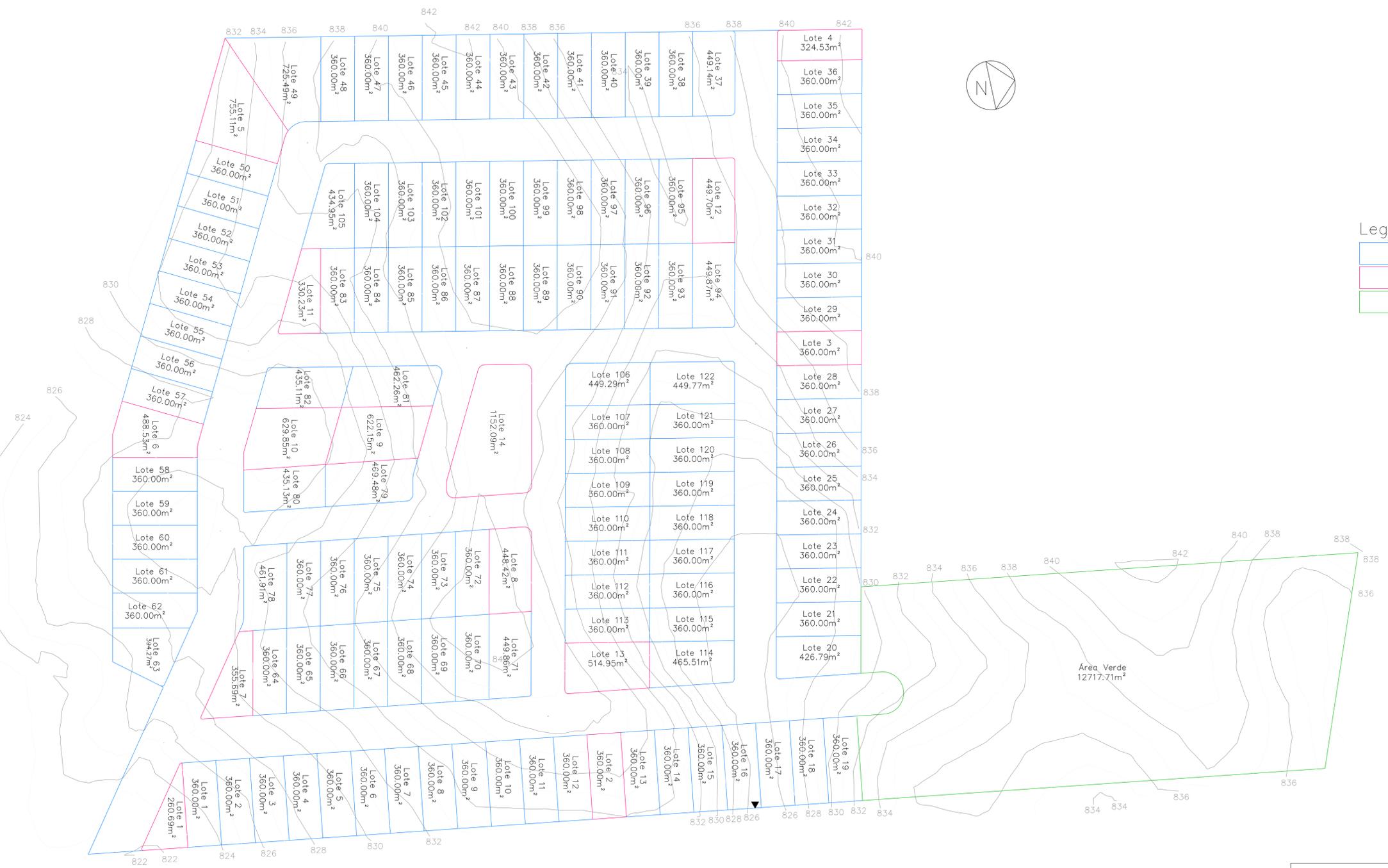
TUCCI, Carlos E.M. **Inundações Urbanas**. Porto Alegre: ABRH, 2007. 389 p.

TUCCI, Carlos E.M.; COLLISCHONN, Walter. **Drenagem Urbana e Controle de Erosão**. 1998.

VAKS, Gabriel. **MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO INTERTRAVADO PERMEÁVEL – ESTUDO DE CASO DE ESTACIONAMENTO COMERCIAL**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ. 2018.

LISTA DE APÊNDICES

- Apêndice 1:
 - Prancha 1: Planta Geral.
- Apêndice 2:
 - Pranchas 3 e 4: Perfil Longitudinal.
- Apêndice 3:
 - Prancha 2: Planta de Drenagem.
- Apêndice 4:
 - Prancha 5: Corte Transversal e Vista Lateral.

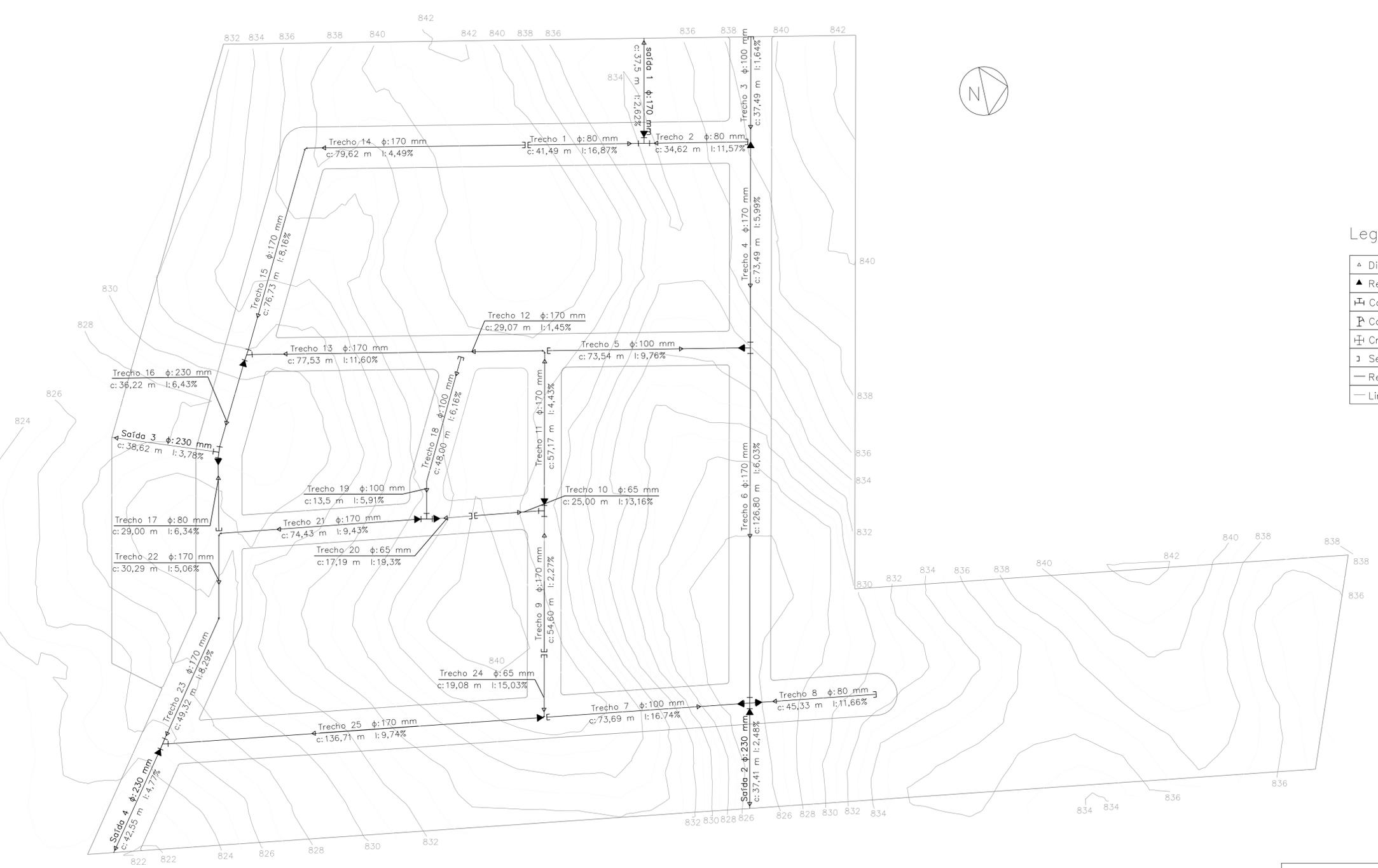


Legenda

- Lote Residencial
- Lote Institucional
- Área Verde

Universidade de Caxias do Sul
Curso de Engenharia Civil
Trabalho de Conclusão de Curso

Loteamento São Luiz Planta Geral do Loteamento	Desenho	Unidade
	Leonel	Metros
	Escala	Data
	1: 800	Nov/20
Projetista: Leonel Parissenti do Nascimento	Prancha	
Versão Inicial	01/05	



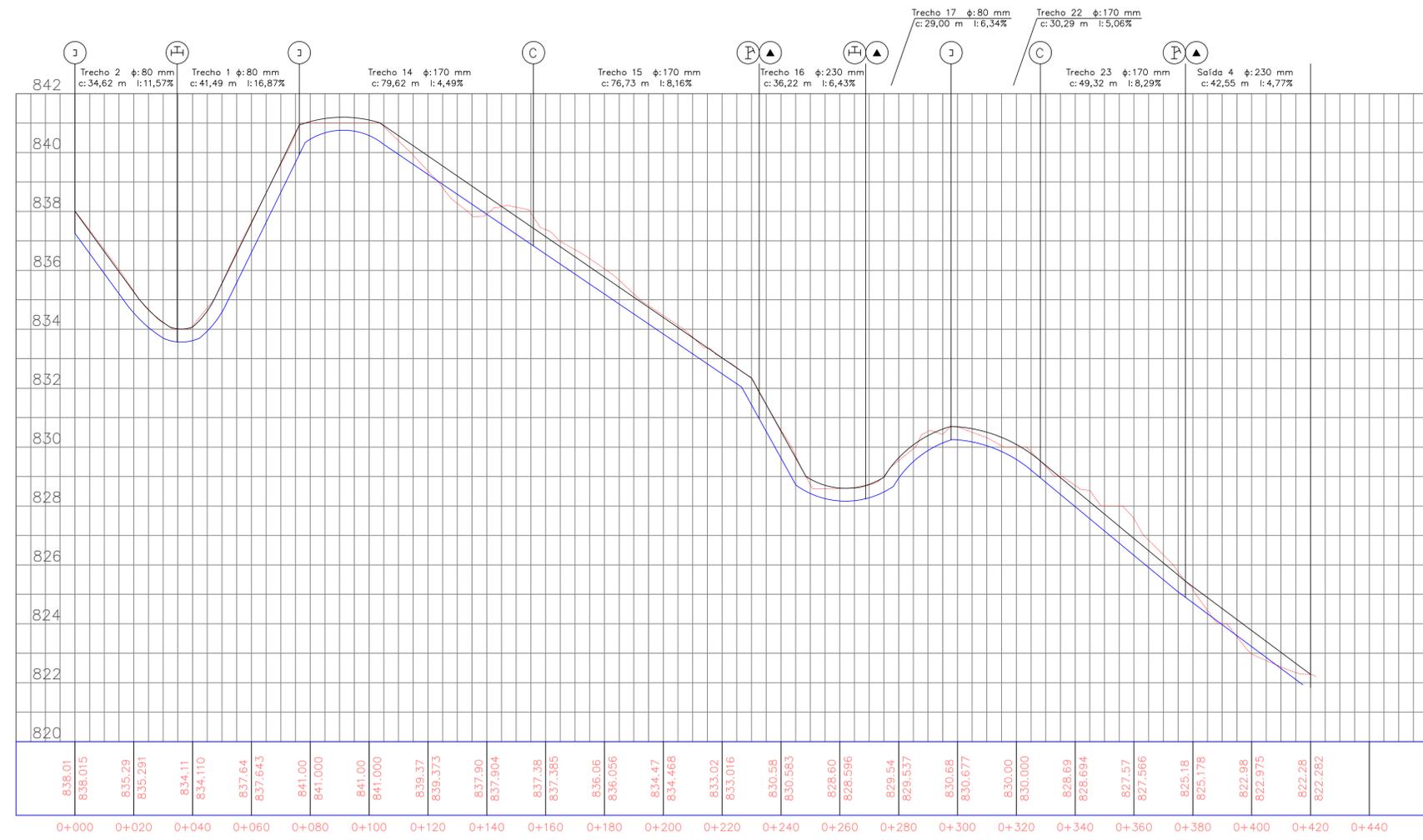
Legenda

▲	Direção de Drenagem
▲	Redução de PEAD
⊕	Conexão T de PVC
⊗	Conexão Y de PVC
⊕	Cruzeta de PVC
⊔	Seccionamento de Rede
—	Rede de Drenagem
—	Limite das Ruas

Universidade de Caxias do Sul
Curso de Engenharia Civil
Trabalho de Conclusão de Curso

Loteamento São Luiz Planta de Drenagem	Desenho	Unidade
	Leonel	Metros
	Escala	Data
	1: 800	Nov/20
Projetista: Leonel Parissenti do Nascimento		Prancha
Versão Inicial		02/05

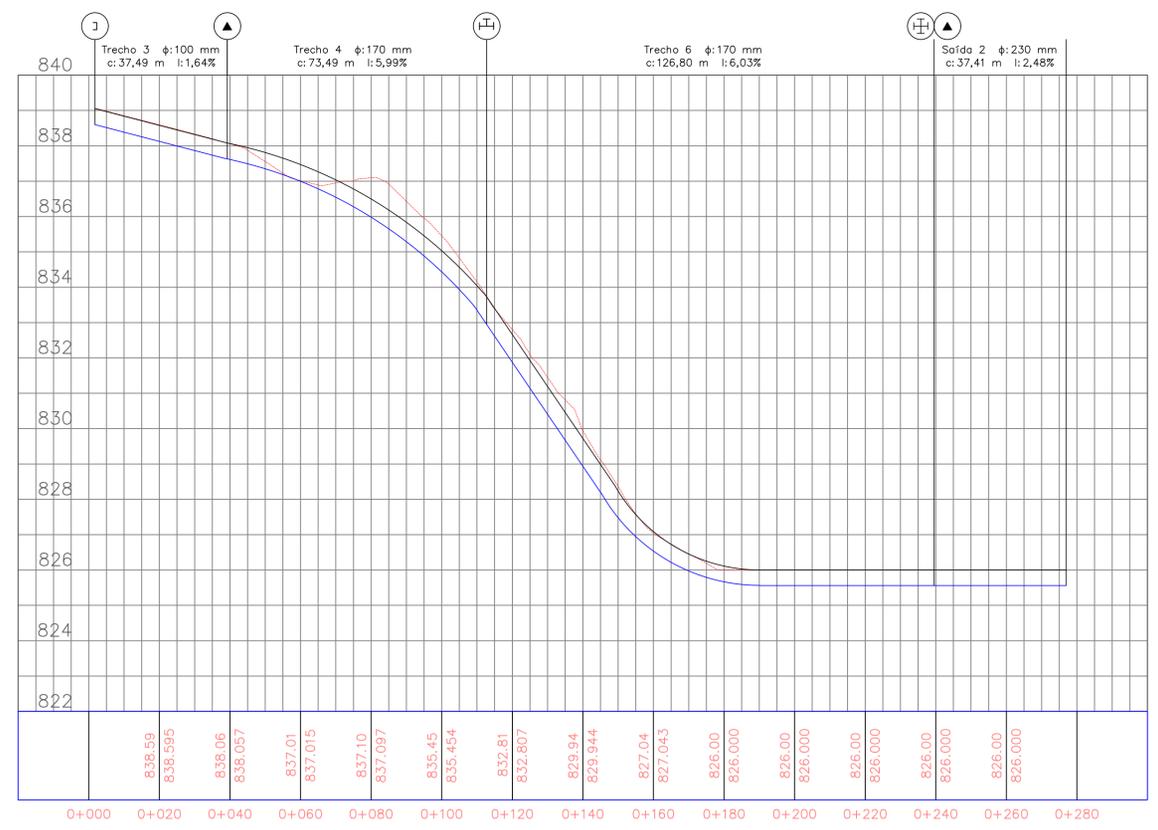
Trecho 2 até Saída 4 PROFILE



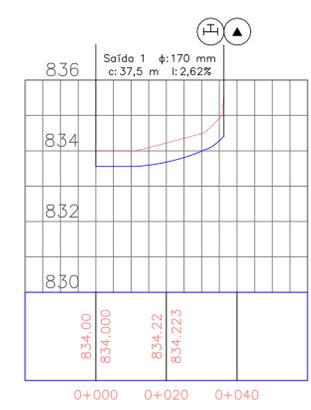
Legenda

⊕	Curva
▲	Redução
⊕	Conexão T
⊕	Conexão Y
⊕	Cruzeta
⊕	Início de Rede
—	Nível do Terreno
—	Terreno Final (Nível do Pavimento)
—	Geratiz Superior da Rede de Drenagem

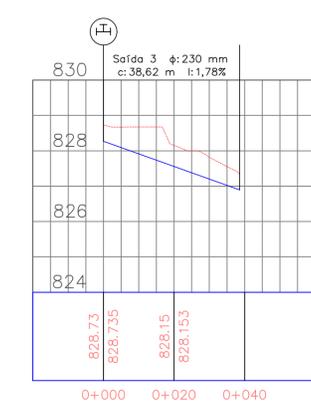
Trecho 3 até Saída 2 PROFILE



Saída 1 PROFILE



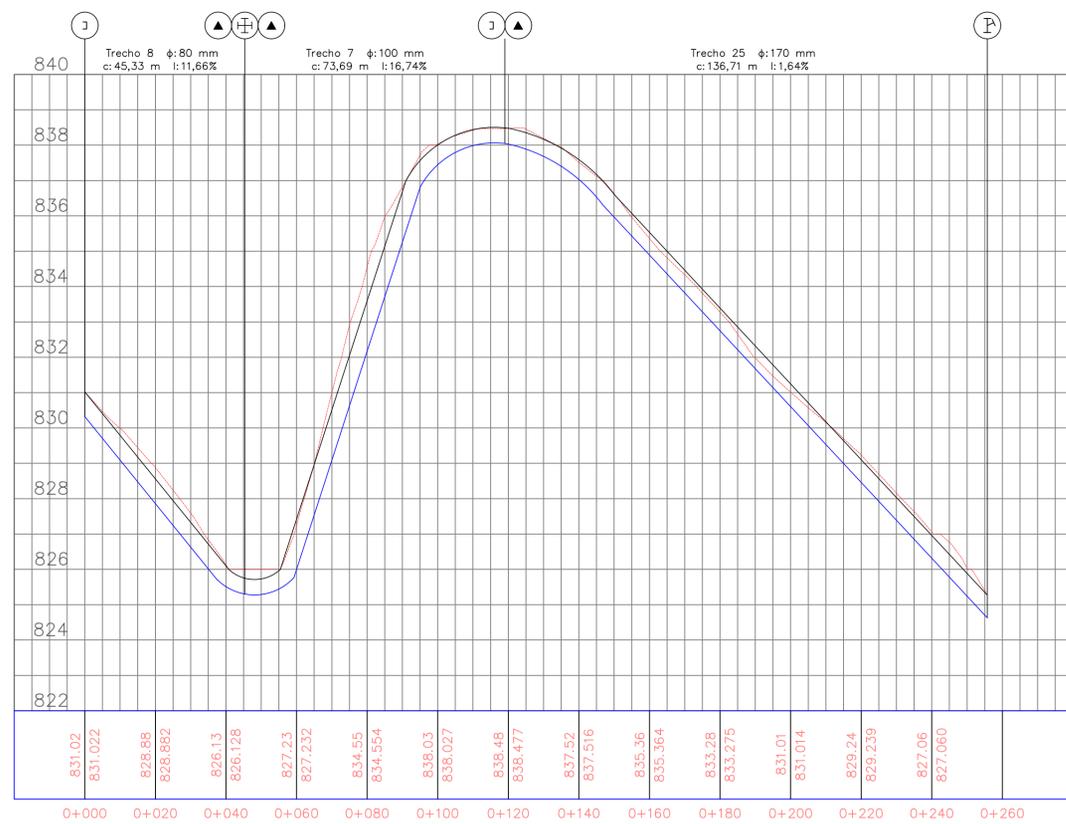
Saída 3 PROFILE



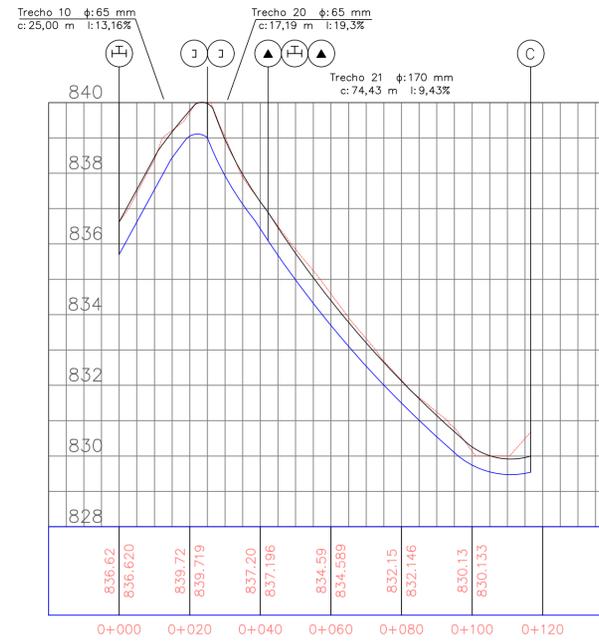
Universidade de Caxias do Sul
 Curso de Engenharia Civil
 Trabalho de Conclusão de Curso

Loteamento São Luiz	Desenho	Unidade
Perfis Longitudinais	Leonel	Metros
	Escala	Data
	H=1:1000	Nov/20
Projeto: Leonel Parissenti do Nascimento	Prancha	
	03/05	
Versão Inicial		

Trecho 8 até Trecho 25 PROFILE



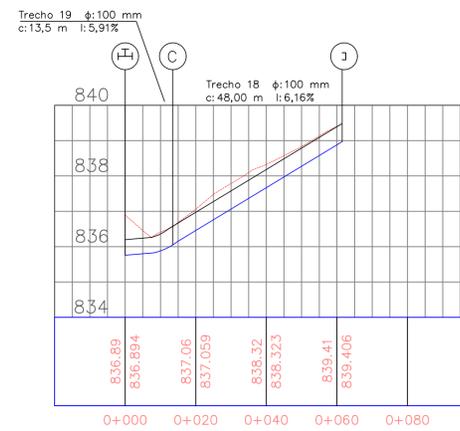
Trecho 10 até Trecho 21 PROFILE



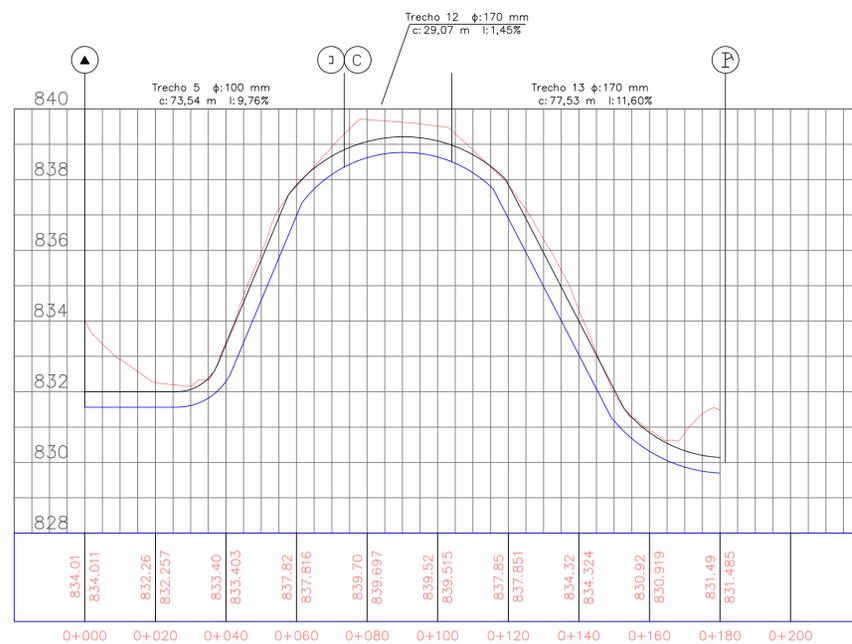
Legenda

⊙	Curva
▲	Redução
⊕	Conexão T
⊖	Conexão Y
⊕	Cruzeta
⊙	Início de Rede
—	Nível do Terreno
—	Terreno Final (Nível do Pavimento)
—	Geratiz Superior da Rede de Drenagem

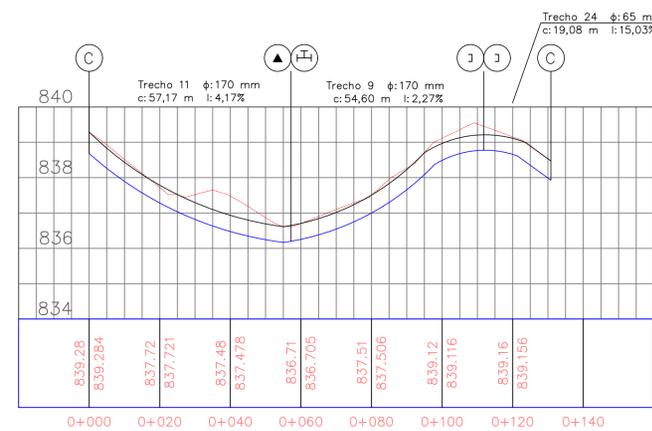
Trechos 18 e 19 PROFILE



Trecho 5 até Trecho 13 PROFILE



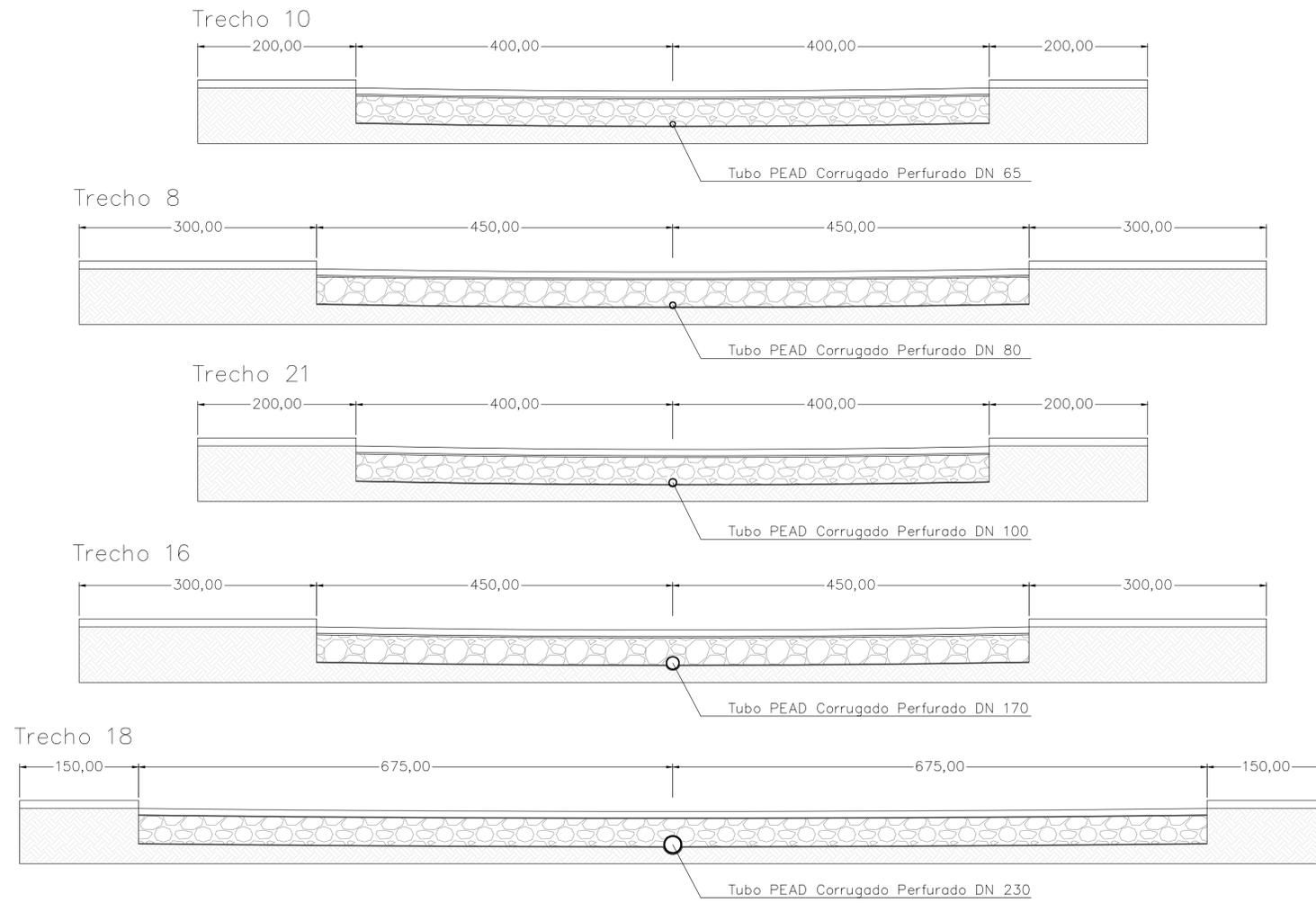
Trecho 11 até Trecho 24 PROFILE



Universidade de Caxias do Sul
Curso de Engenharia Civil
Trabalho de Conclusão de Curso

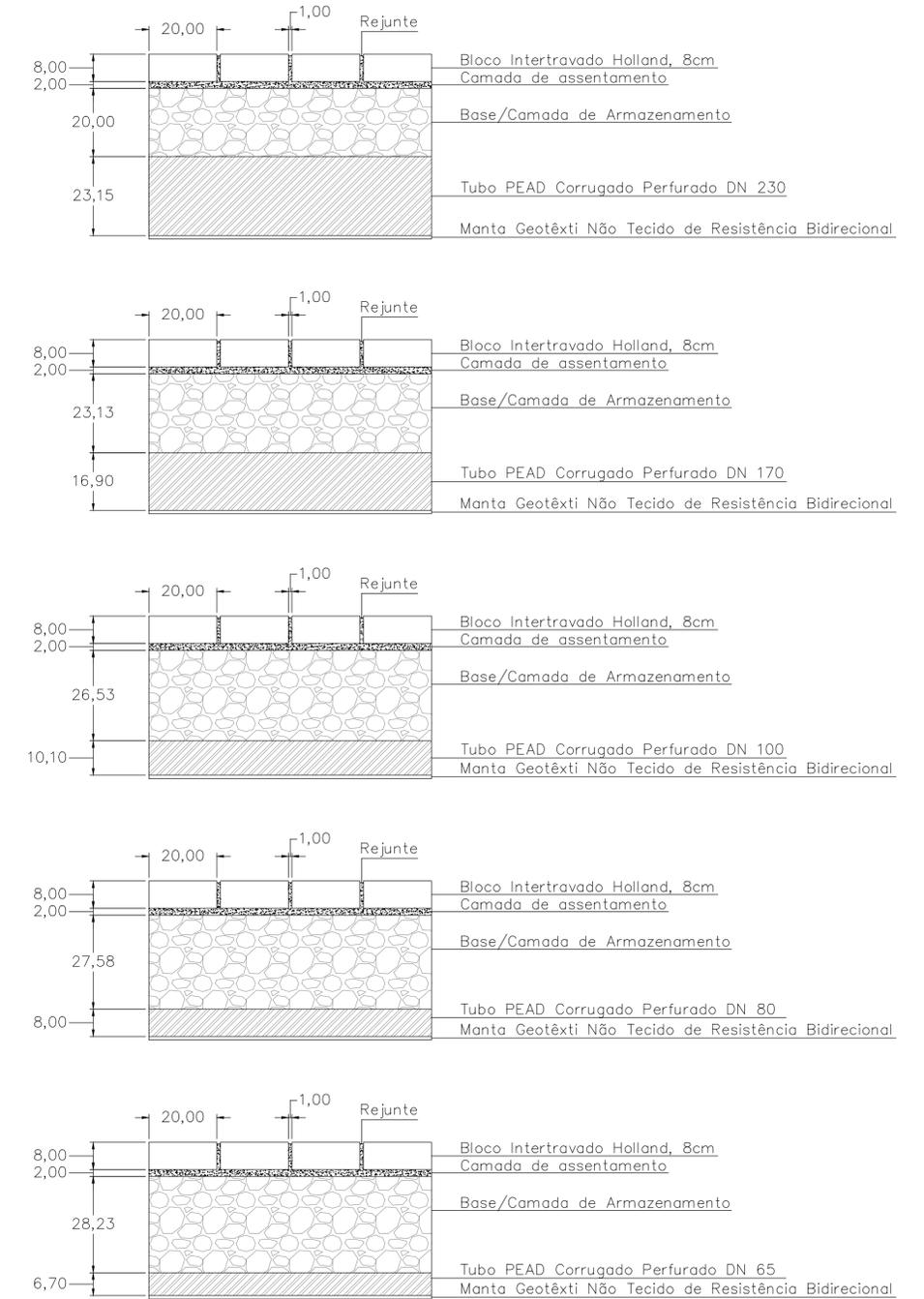
Loteamento São Luiz	Desenho	Unidade
Perfis Longitudinais	Leonel	Metros
	Escala	Data
	H=1:1000 V=1:100	Nov/20
Projetista: Leonel Parissenti do Nascimento	Prancha	
Versão Inicial	04/05	

Corte Transversal



Escala: 1:40

Vista Lateral



Escala: 1:10

Universidade de Caxias do Sul
 Curso de Engenharia Civil
 Trabalho de Conclusão de Curso

Loteamento São Luiz Corte Transversal e Vista Lateral	Desenho	Unidade
	Leonel	cm
Projeta: Leonel Parissenti do Nascimento	Escala	Data
	Indicada	Nov/20
Versão Inicial	Prancha	
	05/05	